AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DAS OPERAÇÕES UNITÁRIAS DE UMA USINA DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM NA RECUPERAÇÃO DOS MATERIAIS RECICLÁVEIS E NA TRANSFORMAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA EM COMPOSTO

DEDALUS - Acervo - EESC
31100013647

Engº. Mecânico MARCUS CESAR AVEZUM ALVES DE CASTRO

Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Valdir Schalch

São Carlos
1996

EESC-USP
Biblioteca
CAMPUS DE S. CARLOS

Class. TESE
Cutt. 1279
Tombo 180/96

Hidráulica e saneamento

st 0745464

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

C355a

Castro, Marcus Cesar Avezum Alves de
Avaliação da eficiência das operações unitárias de uma usina de reciclagem e compostagem na recuperação dos materiais recicláveis e na transformação da matéria orgânica em composto / Marcus Cesar Avezum de Alves de Castro. São Carlos, 1996.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1996.
Orientador: Prof. Dr. Valdir Schalch.

1. Resíduos sólidos domiciliares. 2. Usinas de reciclagem e compostagem. 3. Avaliação da eficiência. I. Título

FOLHA DE APROVAÇÃO

Dissertação defendida e aprovada em 30-7-1996
pela Comissão Julgadora:

Prof. Doutor **VALDIR SCHALCH** **(Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **RENATO VAIRO BELHOT**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **EDSON MARTINS AGUIAR**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Coordenador da área de Hidráulica e Saneamento
Prof. Dr. EDUARDO CLETO PIRES

Presidente da Comissão de Pós-Graduação
Prof. Dr. JOSÉ CARLOS A. CINTRA

"Dedico este trabalho à minha amada esposa Fabiana
e aos nossos futuros filhos"

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Valdir Schalch pela orientação e incentivo à realização do trabalho.

Ao grande amigo Professor João Bosco Ladislau de Andrade pela valiosa colaboração no decorrer do presente trabalho, contribuindo com críticas construtivas e esclarecedoras.

À Engenheira Química Lilian de Assis Machado, pela troca de idéias.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico-CNPq, pela bolsa de estudo concedida.

A prefeitura de São Paulo-capital que através das empresas Logos Engenharia, Engecorp's e Enterpa viabilizaram a realização deste trabalho.

À todos os funcionários da usina de reciclagem e compostagem de São Matheus, pela cooperação e pelas informações fornecidas.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS i

LISTA DE TABELAS v

RESUMO viii

ABSTRACT ix

1 INTRODUÇÃO 1

2 OBJETIVOS 4

3 REVISÃO DE LITERATURA 5

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TRATAMENTO E A DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES 5

3.1.1 Alternativas para o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos domiciliares 6

3.1.2 O reaproveitamento dos materiais recicláveis e da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos domiciliares 12

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES 19

3.3 SISTEMAS OPERACIONAIS DAS USINAS DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM VISITADAS 26

3.4 CARACTERÍSTICAS DA USINA DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM DE SÃO MATHEUS 35
3.4.1 Informações preliminares 35
3.4.2 Características sócio-economicas das regionais que destinam os os resíduos sólidos domiciliares à usina de São Matheus 37
3.4.3 Descrição do processo e dos equipamentos 39

4 METODOLOGIA 49
4.1 Definição das condições preliminares de contorno para a realização do balanço de massa 51
4.2 Caracterização dos resíduos sólidos domiciliares para definição da entrada do sistema para a realização do balanço de massa 52
4.3 Balanço de massa 55
4.4 Caracterização dos rejeitos destinados ao aterro sanitário 62

5 RESULTADOS 64
5.1 Resultados da utilização dos traçadores 64
5.2 Resultados das caracterizações físicas dos resíduos sólidos domiciliares encaminhados ao balanço de massa 68
5.3 Resultados obtidos nos balanços de massa 71
5.4 Resultados das caracterizações físicas dos rejeitos destinados ao aterro sanitário 91
5.5 Resultado do levantamento do custo operacional 92

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 94
6.1 Sobre os traçadores 94
6.2 Sobre a caracterização física 94
6.3 Sobre a eficiência de recuperação dos materiais recicláveis e da transformação da matéria orgânica em composto durante o processamento dos resíduos na usina 97
6.4 Sobre a caracterização dos rejeitos destinados ao aterro sanitário 102
6.5 Sobre os custos operacionais 104

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 106

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 108

LISTA DE FIGURAS

Figura 01- Fluxograma do gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares 07

Figura 02- Esquemas para obtenção da amostra dos resíduos sólidos domiciliares segundo ANDRADE (1992)..... 23

Figura 03- Esquema para obtenção da amostra dos resíduos sólidos domiciliares segundo GOMES(1989)..... 24

Figura 04- Esquema para obtenção da amostra dos resíduos sólidos domiciliares segundo GROSSI(1993)..... 25

Figura 05- Esteira de catação do sistema SIMPLIFICADO OU PRÓPRIO, no bairro do Irajá, na cidade do Rio de Janeiro 27

Figura 06- Fosso de recepção do sistema TRIGA, na cidade do Rio de Janeiro 28

Figura 07- Peneira rotativa do sistema TRIGA, na cidade do Rio de Janeiro..... 28

Figura 08- Higienizadores do sistema TRIGA, na cidade do Rio de Janeiro 29

Figura 09- Fosso de recepção - Usina de Jacarepaguá 29

Figura 10- Fluxograma do processo DANO - Usina de Jacarepaguá..... 30

Figura 11- Esteira de composto e peneira primária - Usina de Jacarepaguá..... 31

Figura 12- Esteira de triagem primária - Usina de Jacarepaguá 31

Figura 13- Fluxograma do processo SANECOM - Usina de Araraquara..... 32

Figura 14- Vista geral da usina de Araraquara - Sistema SANECOM 33

Figura 15- Esteira de catação da usina de Araraquara - Sistema SANECOM 33

Figura 16- Esquema geral de uma usina do sistema MAQBRIT 34

Figura 17- Mapa de localização da usina de São Matheus-S.P 36

Figura 18- Mapa da localização das regionais de São Paulo 38

Figura 19- Fluxograma da usina de São Matheus 40

Figura 20- Fosso de recepção do lixo - Usina de São Matheus 41

Figura 21- Fosso de recepção que alimenta o processo - Usina de São Matheus 42

Figura 22- Esteira de triagem ou mesa de catação - Usina de São Matheus 43

Figura 23- Descarga dos materiais triados na esteira de catação - Usina de São Matheus 44

Figura 24- Eletroímã sobreposto a esteira de triagem - Usina de São Matheus 44

Figura 25- Bioestabilizador - Usina de São Matheus 45

Figura 26- Peneira rotativa - Usina de São Matheus 46

Figura 27- Separador magnético - Usina de São Matheus 47

Figura 28- Esquema para a realização do balanço de massa na Usina de São Matheus 50

Figura 29- Amostra retirada de cada caminhão coletor 53

Figura 30- Quarteamento da amostra inicial 54

Figura 31- Fluxograma do balanço de massa 57

Figura 32- Colocação dos traçadores na entrada dos bioestabilizadores 62

Figura 33- Caracterização dos rejeitos destinados ao aterro sanitário..... 63

Figura 34- Freqüência de saída dos traçadores no primeiro teste..... 66

Figura 35- Freqüência de saída dos traçadores no segundo 66

Figura 36- Freqüência de saída dos traçadores no terceiro teste..... 67

Figura 37- Freqüência de saída dos traçadores no quarto teste..... 67

Figura 38- Fluxograma do balanço de massa na primeira etapa do processo - 72
primeiro balanço de massa

Figura 39- Fluxograma dos materiais obtidos na primeira etapa do processo e
a quantidade destinada a segunda etapa, no primeiro balanço de massa... 74

Figura 40- Balanço de massa na segunda etapa..... 75

Figura 41- Balanço de massa dos plásticos duros que entraram em processo 77

Figura 42- Balanço de massa do alumínio que entrou em processo 78

Figura 43- Balanço de massa das latas de ferro que entraram em processo..... 78

Figura 44- Transformação da matéria orgânica e do papel em composto cru..... 79

Figura 45- Fluxo de materiais na primeira etapa do processo-Segundo balanço..... 80

Figura 46- Fluxograma dos materiais obtidos na primeira etapa do processo e a quantidade destinada à segunda etapa, no segundo balanço de massa.... 82

Figura 47- Balanço de massa na segunda etapa do processo 83

Figura 48- Balanço de massa dos plásticos duros que entraram em processo 85

Figura 49- Balanço de massa do alumínio que entrou em processo 85

Figura 50- Balanço de massa das latas de ferro que entraram em processo. 86

Figura 51- Transformação da matéria orgânica e do papel em composto cru. 86

Figura 52- Fluxo de materiais na primeira etapa do processo terceiro balanço de massa 88

Figura 53- Fluxo de materiais na primeira etapa do processo quarto balanço de massa 90

Figura 54- Latas recuperadas após o bioestabilizador ou latas de segunda. 100

LISTA DE TABELAS

Tabela 01- Comparação da composição física, por peso e por volume, dos resíduos sólidos domiciliares dos E.U.A. 13

Tabela 02- Porcentagens, em base úmida, da matéria orgânica e dos materiais recicláveis, encontradas nos resíduos sólidos domiciliares de alguns bairos da cidade de Joinville.-Base úmida 20

Tabela 03- Produção diária, per capita, (g/hab.dia) de materiais recicláveis, base úmida, segundo as classes sociais da cidade de Joinville-SC. 20

Tabela 04- Procedência da massa de resíduos em estudo e a quantidade distribuída nas linhas de processamento no primeiro balanço de massa... 59

Tabela 05- Procedência da massa de resíduos em estudo e a quantidade distribuída nas linhas de processamento no segundo balanço de massa... 60

Tabela 06- Procedência da massa de resíduos em estudo e a quantidade distribuída nas linhas de processamento no terceiro balanço de massa.... 60

Tabela 07- Procedência da massa de resíduos em estudo e a quantidade distribuída nas linhas de processamento no quarto 61

Tabela 08- Caracterização, em peso, do lixo bruto - 1º caracterização 68

Tabela 09- Caracterização, em peso, do lixo bruto - 2º caracterização 69

Tabela 10- Caracterização, em peso, do lixo bruto - 3º caracterização 70

Tabela 11- Caracterização, em peso, do lixo bruto - 4º caracterização 70

Tabela 12- Eficiência da esteira de catação e do eletroímã na remoção dos materiais recicláveis, na primeira etapa do processo 73

Tabela 13- Eficiência de remoção dos materiais recicláveis e obtenção de composto na segunda etapa do processo, durante o primeiro balanço de massa 76

Tabela 14- Eficiência da esteira de catação e do eletroímã na remoção dos materiais recicláveis, na primeira etapa do processo 81

Tabela 15- Eficiência de remoção dos materiais recicláveis e obtenção de composto na segunda etapa do processo, durante o segundo balanço de massa 84

Tabela 16- Eficiência da esteira de catação e do eletroímã na remoção dos materiais recicláveis, na primeira etapa do processo 89

Tabela 17- Eficiência da esteira de catação e do eletroímã na remoção dos materiais recicláveis, na primeira etapa do processo 91

Tabela 18- Caracterização, em peso, do rejeito - primeiro caracterização 91

Tabela 19- Caracterização, em peso, do rejeito - segunda caracterização 92

Tabela 20- Relação do custo de energia com a quantidade processada 93

Tabela 21- Média das quatro caracterizações realizadas na usina de reciclagem e compostagem de São Matheus. 95

Tabela 22- Comparação entre os resultados obtidos na caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares destinados ao trabalho com a caracterização de outras cidades..... 97

Tabela 23- Eficiência de remoção dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos domiciliares destinados a usina, na primeira etapa do processo(esteira de catação e no eletroímã)..... 98

Tabela 24- Quantidade de materiais retirados, por pessoa e por hora, na esteira de catação. 99

Tabela 25- Comparação das eficiências da coleta seletiva e do processo da usina, na recuperação dos materiais recicláveis..... 102

Tabela 26- Resultados das duas caracterizações dos rejeitos..... 103

Tabela 27- Classificação decrescente das quantidades obtidas de cada material nas caracterizações dos rejeitos..... 103

RESUMO

CASTRO, M.C.A.A. *Avaliação da eficiência das operações unitárias de uma usina de reciclagem e compostagem na recuperação dos materiais recicláveis e na transformação da matéria orgânica em composto*. São Carlos, 1996. 113p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

A crescente conscientização da população sobre os riscos à saúde e ao meio ambiente, em decorrência da disposição inadequada dos resíduos sólidos domiciliares, aliada ao discurso ecológico, tem levado as administrações municipais a reformularem um antigo conceito, ou seja, o de que apenas os serviços de varrição e de coleta têm sido considerados suficientes para a satisfação do poder público. Atualmente, portanto, o gerenciamento de resíduos sólidos domiciliares constitui-se num dos maiores desafios a serem equacionados pelas administrações públicas. Deste modo, a reciclagem dos materiais, resultantes da coleta seletiva e das usinas de reciclagem e compostagem, assim como a disposição final, são pontos fundamentais na avaliação da gestão administrativa. Neste sentido, o presente trabalho apresenta informações a respeito do sistema DANO, o mais utilizado em nosso país dentre as usinas mecanizadas, fornecendo assim subsídios para sua integração no sistema de limpeza pública brasileiro. O trabalho mostra as caracterizações físicas(composição gravimétrica) dos resíduos sólidos domiciliares destinados à usina e, também, dos rejeitos destinados ao aterro sanitário, identificando, em cada caso, os materiais que apresentam um potencial de reciclagem no mercado atual. Finalmente, avaliam-se as eficiências das etapas do processo de uma usina de reciclagem e compostagem do sistema DANO na recuperação dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos domiciliares e, também, na transformação da matéria orgânica em composto, mediante a realização de um balanço de massa em todo processo.

Palavras-chave: Resíduos sólidos domiciliares; Usinas de reciclagem e compostagem; Avaliação da eficiência

ABSTRACT

CASTRO, M.C.A.A. *efficiency evaluation from the stages of a composting and recycling Unit on recovering materials and the transformation of organic material in compost*. São Carlos, 1996. 113p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The increasing population awareness about health and environmental risks, due to the inadequate disposal of solid residential waste, allied to ecological speech, has sed municipal administrators to reshape an old concept, that is only the sweeping and collecting services have been considered enough for satisfying the public authorities. Nowadays, the management of solid residential waste is one of the greastest challenges to be tackled by public administrators. Thus, recycling the materials that result from the selective collection and from the recycling and composting plants, as well as the final disposal products are fundamental subjects in the evaluating public administration. Furthermore, this paper presents information about the DANO system, the most popular in mechanized plants in our country, supplying subsidies for its integration into the brazilian public trash removal and cleaning system. The paper shows the physical characterization (gravimetric composition) of solid residential waste sent to the plants and the rejects sent to the sanitary landfill, identifying in each case, the materials that present recycling potential in the current marketplace. Finally, the efficiency of the steps of the process in a DANO recycling and composting plant are evaluated in recuperating the existing recyclabe material in solid residential waste and, also, in the transformation of organic material into compost through mass balance analysis throughout the process.

Key words: Solid domestic waste; Composting and recycling unit; Valuation of efficiency

1 INTRODUÇÃO

Há tempos, quando o homem interagia com o meio ambiente através do extrativismo, já se produziam resíduos decorrentes dessa relação. Com o decorrer dos séculos esta situação "pacífica" entre o homem e o meio ambiente foi se transformando até chegar a ser um dos maiores conflitos da sociedade moderna.

O desenvolvimento de novas técnicas e processos de produção, aliado ao surgimento de novos materiais, tornaram acessível à grande parte da população uma variedade de produtos industrializados. Em paralelo, ocorreram mudanças nos hábitos da sociedade moderna, onde a praticidade, o conforto e a comodidade tornaram-se pontos fundamentais para o bem estar do indivíduo, dando total sustentação ao surgimento de novos produtos industrializados. A mudança de hábitos transformou as embalagens descartáveis em um dos elementos essenciais para venda de qualquer produto. Todavia, as transformações importaram no aumento da geração de resíduos *per capita*, além do aumento decorrente do próprio crescimento populacional. MESQUITA(1992), em estudo realizado na cidade de São Paulo, constata que 30 a 45% dos resíduos sólidos domiciliares são constituídos por embalagens.

Uma outra conseqüência dessas mudanças diz respeito ao aumento da complexidade dos resíduos sólidos domiciliares gerados. Pode-se perceber que os materiais descartados nas residências são cada vez mais diversificados e a matéria orgânica tende a diminuir, pois a falta de tempo nos dias modernos e o desenvolvimento da indústria alimentícia, faz chegar ao consumidor os alimentos já limpos e prontos para o consumo. Por outro lado, esses produtos apresentam-se com muito mais embalagens não biodegradáveis do que quando comercializados *in natura*. Segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS-ABIEF(1995), as embalagens representam cerca de 40% da média de 1,5 milhão de toneladas de termoplásticos produzidos anualmente no Brasil.

Os resíduos sólidos são definidos como "resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica,

hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isto soluções técnica e economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT, NBR 10.004, 1987, p.1). De forma mais geral, são definidos como sendo os rejeitos das atividades humanas.

Atualmente, em nosso país, os resíduos sólidos constituem-se em um dos maiores problemas para as administrações municipais, visto que seu gerenciamento adequado acarreta em elevados custos ao orçamento municipal. Nos grandes centros urbanos, no caso específico dos resíduos sólidos de origem domiciliar, o problema é ainda mais grave devido a elevada quantidade de resíduos gerada e a falta de áreas adequadas disponíveis, próximas da cidade, para sua disposição. Tal situação acaba gerando soluções paleativas, muitas vezes ambientalmente e sanitariamente incorretas. Uma pesquisa realizada pelo INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE (1992), intitulada *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-1989*, revela que 49% dos resíduos sólidos domiciliares coletados diariamente nas cidades brasileiras são dispostos em vazadouros ou lixões e os 51% restantes são encaminhados para aterros, usinas de reciclagem e compostagem e, também, incineradores.

A experiência dos países desenvolvidos, no equacionamento deste problema, mostra que a redução na fonte, a reutilização e a reciclagem dos materiais são alternativas para se maximizar a vida útil dos aterros sanitários, além de reduzir a extração de recursos naturais para sua transformação em novos produtos. No Brasil, os programas de coleta seletiva dão os primeiros passos na intenção de minimizar esse problema, mas deve-se levar em consideração que a coleta seletiva envolve aspectos de ordem disciplinar e cultural, sendo que sua aplicação efetiva depende de um nível de conscientização da população, razão pela qual não se pode esperar mudanças substanciais a curto e médio prazo. Deve-se também considerar, conforme MACHADO (1995), que hoje os custos da coleta seletiva ainda são muito mais onerosos quando comparados com a coleta regular. Neste sentido, as usinas de reciclagem e compostagem implantadas no país surgem como uma das alternativas para contornar a inércia de nossa sociedade em modificar seus hábitos e costumes, necessitando, para isso, uma integração com o sistema de limpeza pública do local.

No entanto, convém notar que, segundo BLEY JÚNIOR (1991), até recentemente existiam cerca de 57 usinas implantadas no Brasil, sendo que 24 destas estão desativadas, 15 em reforma e apenas 18 estão em operação. Ademais, estudo realizado por GALVÃO JUNIOR(1995) apresenta um diagnóstico técnico-ambiental das principais usinas de reciclagem e compostagem do país e, em termos gerais, o estudo mostra a precariedade da maior parte das usinas do país, as quais apresentam elevados níveis de rejeitos, problemas mecânicos(corrosão e abrasão), e problemas operacionais, causando a baixa qualidade dos produtos obtidos.

Neste contexto, portanto, o presente trabalho é importante porque avalia a viabilidade de uma usina de reciclagem e compostagem como um dos meios de se maximizar a vida útil de um aterro sanitário, de um grande centro urbano, por exemplo, onde a carência de áreas para a disposição final e a enorme quantidade de lixo gerada exigem providências imediatas. O trabalho, ainda, analisa a eficiência de remoção dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos domiciliares em cada etapa do processo da usina estudada, mediante a realização de um balanço de massa ao longo de todo o sistema.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho visa atingir os seguintes objetivos adiante relacionados:

-Caracterizar os resíduos sólidos destinados à usina de reciclagem e compostagem de São Matheus-S.P;

-Caracterizar os rejeitos destinados ao aterro sanitário, resultantes do processamento dos resíduos sólidos domiciliares na usina sob estudo, determinando as porcentagens dos materiais recicláveis presentes;

-Avaliar a eficiência das operações unitárias de um sistema DANO, na recuperação dos materiais recicláveis e na separação da matéria orgânica para compostagem, durante o processo, através da utilização de balanços de massa;

-Levantar preliminarmente alguns custos operacionais da usina de reciclagem e compostagem sob estudo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O TRATAMENTO E A DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Com o aumento contínuo da produção de resíduos sólidos nos centros urbanos - decorrente de um conjunto de fatores entre eles o aumento populacional, o aumento da geração de resíduos sólidos por habitante, a intensificação das atividades industriais, o surgimento de novos materiais e a crescente tendência dos consumidores em optar pela "comodidade" de embalagens descartáveis - vêm se agravando os problemas com o manejo, tratamento e disposição final desses resíduos.

No caso particular do Brasil, para completar, tem-se, ainda, uma legislação e uma fiscalização ambiental ineficientes, que, por várias décadas, vêm permitindo que resíduos sólidos de origem domiciliar e também industrial sejam dispostos a céu aberto (nos denominados **lixões**) sem que haja qualquer medida de controle ou fiscalização por parte dos órgãos responsáveis.

Hoje, em nosso país, as alternativas sanitariamente corretas utilizadas para o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos domiciliares nos municípios, basicamente são: incineração, pirólise, usinas de reciclagem e compostagem e aterro sanitário. Em contrapartida, o INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE(1992), em sua *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-1989*, mostrou que apenas 51% dos resíduos possuem uma destinação sanitariamente correta (45% em aterros sanitários, 5,8% em usinas de reciclagem e compostagem e 0,2% em incineradores), e os 49% restantes são encaminhados a vazadouros ou lixões. Atualmente, essa situação é ainda mais grave devido ao aumento do número de lixões clandestinos, principalmente nos grandes centros urbanos. A reportagem de AMARAL (1995), publicada pelo jornal Folha de São Paulo, revelou um aumento de 25% no número de lixões ilegais na grande São Paulo, exigindo, portanto, uma atuação corretiva e imediata, além do estabelecimento de uma política forte e integrada no gerenciamento dos resíduos sólidos.

e imediata, além do estabelecimento de uma política forte e integrada no gerenciamento dos resíduos sólidos.

As alternativas sanitariamente corretas, citadas anteriormente, visam, portanto, minimizar os impactos ambientais decorrentes da disposição inadequada e possuem particularidades bem específicas, necessitando de profundos estudos para viabilizar a solução que melhor se adapte às condições do município, o que na maioria das vezes está muito longe da solução ideal. Isto mostra que a escolha de apenas uma alternativa para solucionar o problema é utópica e quiçá partidária, pois ainda hoje não existe uma única tecnologia capaz de solucionar por si só todo o problema de tratamento e disposição final dos resíduos sólidos domiciliares. Todos os sistemas de tratamento dos resíduos sólidos, seja incineração, pirólise e usina de reciclagem e compostagem, necessitam de um aterro sanitário para dispor os rejeitos gerados no processamento dos resíduos. Por outro lado, o aterro sanitário sendo um sistema de disposição final (Figura 1) deve ser utilizado de forma racional, minimizando-se, através da redução e reciclagem dos materiais inertes, a quantidade de resíduos a ele destinados, de forma a prolongar sua vida útil. Portanto, a escolha de uma alternativa não significa necessariamente o detrimento de outras tecnologias, mas sim que estas são de certa forma complementares. Adiante, para esclarecimento, é mostrada uma breve descrição das alternativas sanitariamente corretas e já citadas.

3.1.1 Alternativas para o tratamento e disposição final dos resíduos sólidos domiciliares

Incineração

"A incineração consiste basicamente no tratamento térmico do resíduo a altas temperaturas, convertendo-o em material inerte" (HAMADA & OJIMA, 1992, p.2). Segundo SCHALCH (1990), a incineração é um processo de redução de volume e peso do lixo, através da combustão controlada. Os remanescentes da queima são geralmente constituídos de gases, como o anidrido carbônico (CO_2), anidrido sulfuroso (SO_2), nitrogênio(N_2), oxigênio (O_2) proveniente do ar em excesso que não é queimado completamente, água, escórias e cinzas (na ordem de 15% a 20% da massa inicial) que são encaminhadas ao aterro sanitário.

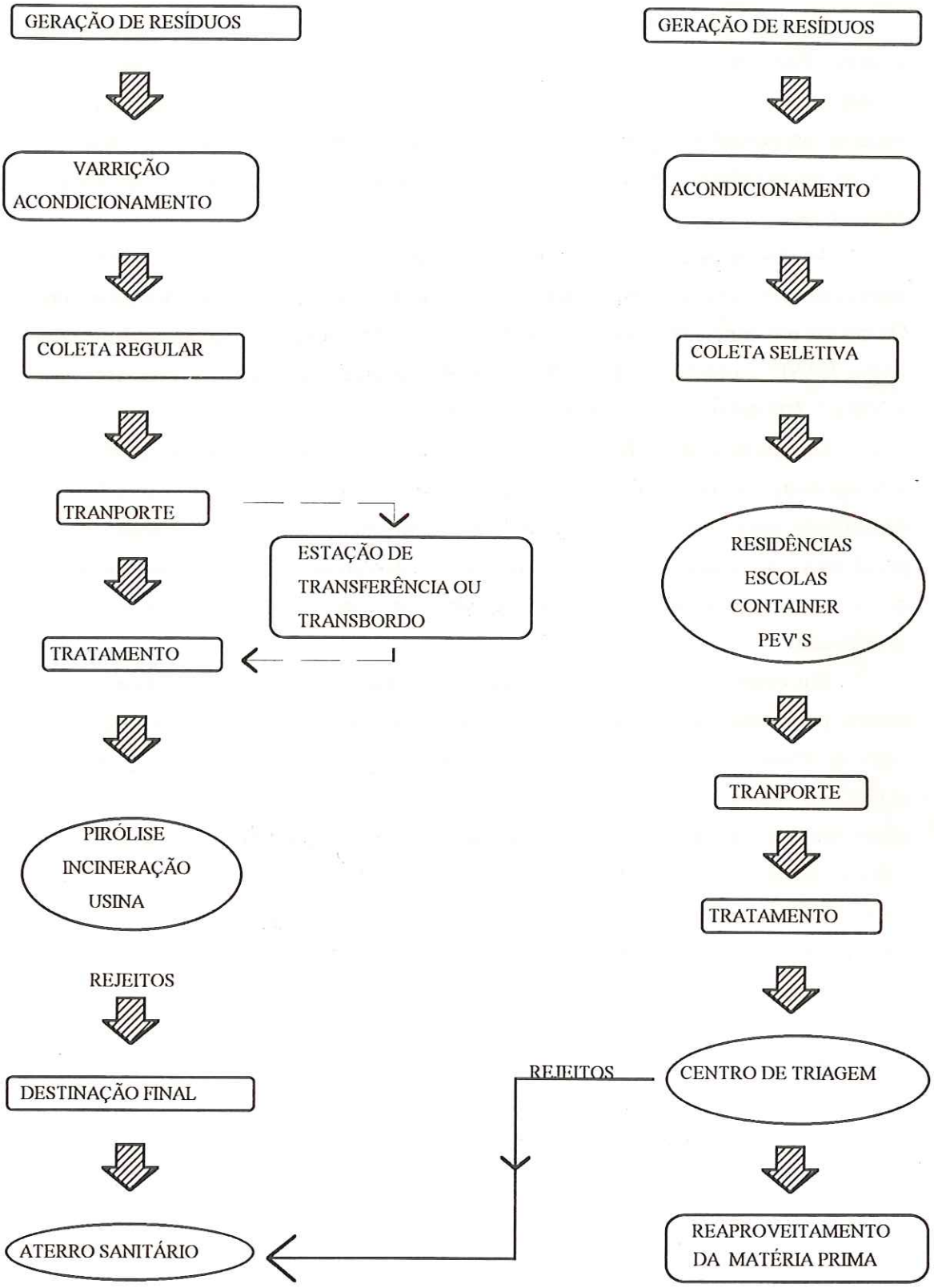


Figura1-Fluxograma do gerenciamento dos resíduos sólidos domiciliares

Uma ressalva deve ser feita quanto aos aspectos relacionados com efluentes gasosos. Portanto, incineradores mais antigos não possuem sistema para tratamento dos efluentes gasosos, liberando para a atmosfera principalmente o monóxido de carbono e material particulado(fuligem), decorrentes de uma combustão incompleta. Isto mostra que os incineradores devem ser providos de equipamentos destinados ao tratamento destes gases.

As desvantagens desta alternativa, conforme HAMADA & OJIMA(1992), estão ligadas ao elevado custo de implantação e operação, exigindo mão de obra especializada. Os custos por tonelada processada podem superar 150 dólares. Segundo informações do grupo BASF* , obtidas na ECO Brasil (1996), o preço cobrado por tonelada varia de 1.200 a 1.800 dólares por tonelada processada.

De acordo com CERVONE (1993) os incineradores existentes em Ponte Pequena e Vergueiro, em São Paulo, ambos de tecnologia Martin, comprados em 1957 e com capacidade para 300 t/dia, operam com praticamente metade da carga, devido a problemas com desgaste de equipamentos e, por não possuirem um sistema eficiente para o tratamento dos efluentes gasosos, atingem um custo de 17,8 dólares por tonelada processada.

Em contrapartida, a área ocupada na instalação é bem menor se comparada aos outros processos, possibilitando a localização do incinerador em áreas próximas aos centros urbanos, diminuindo as distâncias com transporte. Baseado em SCHALCH et al.(1990), outros dois aspectos positivos podem ser citados O primeiro ponto é a transformação do lixo em escórias e cinzas, que representam aproximadamente 3% do volume inicial e 15% do seu peso original, sem risco de contaminação do ponto de vista sanitário. O segundo ponto é a possibilidade de aproveitamento de parte do calor gerado na queima dos resíduos, desde que se instalem equipamentos adicionais.

Pirólise

Uma outra alternativa é o processo de pirólise, definido como uma decomposição térmica sob uma atmosfera livre de oxigênio e que transforma substâncias complexas em simples pela utilização de calor. Segundo SCHALCH et al.(1990) é um processo endotérmico que ocorre em temperaturas inferiores a da incineração, com a produção de líquidos ou gases com alto poder calorífico.

---

* BASF, comunicação pessoal(1996).

O processo dá-se dentro de um reator pirolítico, o qual é composto por várias zonas de calor onde ocorrem a secagem, volatização, oxidação e fusão dos resíduos sólidos. Em geral a temperatura no reator varia de 300 a 1.600°C. A variação da temperatura e o monitoramento do ar, necessário à combustão, é de fundamental importância no processo pois permite que determinadas substâncias sejam extraídas do lixo.

A vantagem do sistema pirolítico é o balanço energético sempre positivo, produzindo mais energia do que consumindo. Ademais, segundo HADDAD (1979), é possível trabalhar com temperaturas mais baixas, possibilitando a geração de combustível líquido ou gasoso. Segundo BUTTERWORTHS ANN ARBOR SCIENCE[1] apud SCHALCH et al (1990) o volume dos efluentes gasosos é menor, diminuindo os custos com o tratamento. A referência bibliográfica supramencionada, por outro lado, cita que as desvantagens estão relacionadas com a pouca experiência na destruição de materiais perigosos, pois os produtos formados podem, muitas vezes, ser mais perigosos que os processados. As desvantagens também estão relacionadas com o elevado custo, dificultando que se possa aplicar o processo no tratamento de vários tipos de resíduos.

Usinas de Reciclagem e Compostagem

BLEY JUNIOR (1993) afirma que a introdução das usinas de reciclagem e compostagem no Brasil remonta a cerca de trinta anos, sendo que em 1986 e 1987 houve uma aceleração desse processo com a criação, através do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social-BNDES, de uma linha de crédito específica para construção e aquisição desses equipamentos.

Conforme LIMA (1988), o processo geral das usinas de reciclagem e compostagem pode ser dividido em tratamento físico e biológico, respectivamente. A primeira etapa objetiva a triagem manual e/ou mecânica dos materiais não biodegradáveis, presentes nos resíduos sólidos domiciliares, e a preparação da matéria orgânica para a ação biológia. A segunda etapa consiste na fermentação ou digestão dos resíduos pela ação dos microrganismos presentes.

Mais especificamente KIEHL (1985) define o tratamento biológico, denominado compostagem, como sendo um processo de transformação de resíduos orgânicos em

---

[1] *BUTTERWORTHS ANN ARBOR SCIENCE.* **Diposal and recovery of munucipal solid waste**, *London, Ed. Michael E. Henstoch, 1983 apud SCHALCH, V; LEITE, W.C.A.; GOMES L.P. Gerenciamento de resíduos sólidos, Goiânia, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária-ABES, 1990. p.146*

adubo humificado. Dois estágios podem ser identificados nessa transformação, o primeiro é denominado digestão (que corresponde à fase inicial da fermentação, na qual o material alcança o chamado estado de bioestabilização) onde a decomposição ainda não se completou, porém, quando bem caracterizada, permite que se use o composto como adubo, sem risco de causar danos às plantas. O segundo estágio, mais longo, é o da maturação, no qual a massa em fermentação atinge a humificação, estado este em que o adubo apresenta as melhores condições como melhorador do solo e como fertilizante. "No entanto, além do efeito condicionador de solo, o composto é também classificado como um fertilizante de baixa concentração de nutrientes, razão pela qual são empregadas doses elevadas, geralmente acima de 10 toneladas por hectare".(SCHALCH, 1991, p.44)

De uma forma global o processo que envolve as usinas de reciclagem e compostagem pode ser dividido em:

- Recepção e estocagem;
- Triagem (mecânica ou manual);
- Trituração;
- Tratamento biológico (normal ou acelerado);
- Classificação final.

A seguir, com base em HAGERTY (1973), é descrita com maior detalhe cada etapa do processo das usinas de reciclagem e compostagem.

• RECEPÇÃO E ESTOCAGEM - O lixo ao atravessar a fronteira do sistema é estocado em pátios, áreas de recebimento ou em dispositivos especiais, como fossos ou tremonhas de recepção. O pátio de estocagem, assim como o fosso de recepção, é dimensionado em função da capacidade nominal, prevendo-se uma reserva mínima de três dias de estocagem. Os fossos são comumente providos de esteiras transportadoras que servem para introduzir os resíduos no sistema. Outros tipos de transportadores são também utilizados, como por exemplo as caçambas tipo pólipo.

• TRIAGEM - A triagem do lixo pode ser feita manual ou mecanicamente. A triagem manual é executada em esteiras transportadoras onde os operários, dispostos de cada lado da esteira, retiram manualmente os resíduos inertes ou inorgânicos. Já a triagem mecânica é feita por equipamentos especiais, como eletroímã, peneiras rotativas e vibratórias, ciclones, aspiradores, flutuadores, etc. Em algumas usinas de reciclagem e compostagem a triagem é realizada em processo misto (mecânico e manual).

• TRITURAÇÃO - A trituração dos resíduos é realizada em moinhos especialmente construídos para processar o lixo. Existem vários tipos de moinhos, sendo

os mais comumente empregados os de martelo. Em alguns sistemas de usinas este equipamento não existe.

• TRATAMENTO BIOLÓGICO - A compostagem pode ser classificada, segundo o processo de homogeneização e fermentação, em natural e acelerada. A compostagem natural é realizada em leiras e montes, dependentes, portanto, de fatores externos como a pluviometria, temperatura e umidade. Já na compostagem acelerada, a fermentação e homogeneização ocorrem em equipamentos específicos (bioestabilizadores, higienizadores) onde os principais fatores que influem no processo são controlados obtendo-se assim um composto de melhor qualidade, além de reduzir drasticamente o tempo de compostagem. Após a digestão, o composto é transferido para o pátio de cura onde permanece entre 60 e 120 dias para processos aeróbios e mais de 180 dias para processos anaeróbios.

• CLASSIFICAÇÃO FINAL -Consiste basicamente na classificação dos materiais recicláveis triados no processo, objetivando facilitar sua venda.

Os sistemas de usinas existentes no Brasil podem ser divididos em dois tipos: usinas com compostagem acelerada e usinas com compostagem natural. Dentre as usinas com compostagem acelerada as mais usuais são as dos sistemas DANO e TRIGA. Ambas de tecnologia européia, processam uma quantidade maior de lixo devido a maior mecanização e, obviamente, possuem custos de implantação e operação mais elevados. Entre as usinas com compostagem natural sobressaem-se os sistemas SANECOM, MAQBRIT, YOK, SIMPLIFICADO ou PRÓPRIO, CETESB, BECCARI e STOLLMEIER, todos com tecnologia nacional, descritos com maiores detalhes em GALVÃO JUNIOR(1995).

A vulnerabilidade das usinas de reciclagem e compostagem está relacionada com a qualidade duvidosa do composto formado e também com o desinteresse, por parte das indústrias recicladoras, em adquirir os materiais potencialmente recicláveis obtidos na triagem dos resíduos sólidos domésticos.

Segundo BLEY JUNIOR (1993) os custos operacionais são bem variados, portanto duas usinas processando 1.654 t/mês e 8.402 t/mês custam aos cofres públicos US$ 80,19 /t e US$ 54,04 /t, respectivamente, sendo que a operação de um aterro desta cidade custa US$ 31,72 /t. Outras duas grandes cidades, que processam em média 33.000 t/mês e 21.000 t/mês, custam US$7,44 /t e US$ 9,79 /t respectivamente. Aceita-se como nível de custo operacional para uma usina com capacidade de 500t/dia, por um processo de compostagem acelerada, um custo projetado de US$ 19,65/t.

Aterro Sanitário

O sistema de disposição final dos resíduos sólidos domiciliares em aterros sanitários é um dos métodos mais difundidos para a grande maioria dos municípios brasileiros. Constituem, ainda hoje, a forma mais viável de disposição de lixo doméstico, devido principalmente a dois fatores. O primeiro, por ser a solução de menor custo quando comparada com outros processos, exigindo poucos equipamentos e mão-de-obra não especializada. O segundo, porque grande parte dos municípios brasileiros são de pequeno porte e geram uma quantidade de lixo que, em princípio, não justifica grandes instalações, ademais também possuem áreas disponíveis, próximas à cidade, para a construção dos aterros sanitários.

Existem diversas formas de aterro sanitário, mas basicamente constituem-se no aterramento dos resíduos com compactação e cobertura diária - utilizando-se equipamentos de terraplanagem -, possuindo um sistema de drenagem e tratamento dos líquidos percolados e dos gases gerados na decomposição anaeróbia.

As desvantagens desta forma de disposição estão relacionadas com a disponibilidade de grandes áreas para a construção, além do desperdício de materiais potencialmente recicláveis que leva ao consumo de novos recursos naturais e de energia para industrializá-los.

De acordo com HAMADA & OJIMA(1992), o custo operacional desta alternativa situa-se, em média, entre 5 e 10 dólares por tonelada. Por outro lado, segundo CERVONI (1993), os custos de operação dos aterros sanitários de São Paulo, em maio de 1993, foram:

- Aterro sanitário Bandeirantes : US$ 6,51/t;
- Aterro sanitário Vila Albertina (esgotado): US$ 17,94/t;
- Aterro sanitário de Santo Amaro (esgotado): US$ 5,27/t;
- Aterro sanitário São João: US$ 5,31/ t.

3.1.2 O reaproveitamento dos materiais recicláveis e da matéria orgânica presentes nos resíduos sólidos domiciliares

Uma tendência mundial, principalmente desenvolvida nos países de Primeiro Mundo, mostra que uma das alternativas para minimizar os problemas causados pela disposição final do resíduos sólidos domiciliares consiste na recuperação dos materiais recicláveis, seja com coleta seletiva ou com usinas de reciclagem e compostagem,

possibilitando a economia dos recursos naturais e energia, além de aumentar consideravelmente a vida útil dos aterros sanitários. Exemplo significativo desta afirmação pode ser observado na Tabela 1, adiante, onde se faz uma comparação entre a caracterização por peso e a caracterização por volume de cada componente dos aterros sanitários dos E.U.A. Nota-se, a partir da referida Tabela 1, que os materiais recicláveis(papel, plástico, ferro, alumínio e vidro) representam 58,5 % e a matéria orgânica e podas de árvores 28,4%, na caracterização por peso. Já na caracterização por volume os materiais recicláveis representam 68,1% e a matéria orgânica e podas representam 13,6%. Pode-se observar, a partir desta comparação, que os grandes responsáveis pela ocupação dos aterros sanitários são os materiais recicláveis.

TABELA 1- Comparação da composição física, por peso e por volume, dos resíduos sólidos domiciliares dos E.U.A.

MATERIAIS	COMPOSIÇÃO POR PESO (%)	COMPOSIÇÃO POR VOLUME(%)
PAPEL E PAPELÃO	34,2	34,1
PLÁSTICOS	9,2	19,9
PODA DE JARDINS	19,9	10,3
METAL FERROSO	6,9	9,8
BORRACHA E COURO	2,9	6,4
TRAPO	2,5	5,3
MADEIRA	4,2	4,1
MATÉRIA ORGÂNICA	8,5	3,3
OUTROS	3,5	2,5
ALUMÍNIO	1,1	2,3
VIDRO	7,1	2,0
TOTAL	100	100

Fonte:ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY-EPA (1990).

No século XVII Lavoisier concluía que *na natureza nada se cria nada se perde, tudo se transforma*, mostrando claramente que na natureza todos os elementos fazem parte de um ciclo fechado, onde os rejeitos e resíduos são utilizados como matéria-prima para a geração de novas vidas, garantindo a eternidade dos ciclos durante os séculos. Mas, após a segunda metade deste século, o desenvolvimento da química e o

aprimoramento dos processos de produção deram origem aos materiais inorgânicos(vidro, plástico, metais, etc.) desenvolvidos em laboratórios pela tecnologia do homem, possuindo estruturas e ligações químicas inéditas que não pertencem a nenhum ciclo natural. Isto equivale a dizer que estes materiais, após o descarte, não possuem um processo de decomposição natural que os transforme novamente em matéria-prima, reciclando-a para novos produtos e, assim, fechando o ciclo.

Os materiais inorgânicos em pouco tempo ocuparam o mercado, pois sua grande variedade e versatilidade associava propriedades mecânicas, até então inéditas, a um único produto e com um custo acessível. Com esta alta produção, e a despreocupação em reintegrá-los nos processos produtivos, originaram-se duas situações opostas. De um lado o acúmulo destes materiais nos aterros sanitários ocupando grandes volumes, de outro o consumo cada vez maior dos recursos naturais, exaurindo-os, pois estes não são inesgotáveis. Cabe ao homem moderno, portanto, estabelecer o elo de ligação reintegrando-os aos processos de produção através da reciclagem, fechando o ciclo destes materiais.

Reciclagem do vidro

Conforme RIBEIRO[2] apud MACHADO (1995), o vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa em fusão. Suas características principais são a dureza e a transparência. As matérias-primas básicas são: areia, calcário, barrilha ou soda cáustica e cacos de vidros.

Segundo OBLADEN et al (1993), o mecanismo de fabricação de artefatos de vidro a partir de cacos é bastante simples e muito mais econômica do que a partir da matéria-prima virgem. A ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE VIDROS-ATBIAV (1993) descreve que uma das grandes qualidades dos vidros é a sua reciclabilidade, o vidro é 100% e infinitamente reciclável.

De acordo com MACHADO (1995), a reciclagem do vidro é altamente viável porque apresenta uma grande economia no consumo de energia térmica nos fornos, pois os cacos são fundidos a 1.200°C enquanto a matéria-prima necessita de 1.600°C, consumindo 20% menos energia."O consumo de barrilha, uma das matérias-primas

---

[2]*RIBEIRO, G.* **História do vidro**. *In: SEMINÁRIO O VIDRO COMO INSTRUMENTO DE RESGATE SOCIAL, Porto Alegre, Instituto Goethe/ Associação de ex-bolsistas da Alemanha, 1989 apud MACHADO, G.E. Estudo comparativo de custos da coleta seletiva e convencional de resíduos sólidos urbanos, no bairro Balneário, Município de Florianópolis SC, Florianópolis 1995. 132p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina.*

utilizadas, é reduzido em 22%. Além disso, para produzir 1kg de vidro, são necessários 1,2kg de minérios enquanto que com 1kg de cacos é possível obter 1kg de vidro novo" (NEDER,1995, p.48).

Em 1974, na Europa, tiveram início os primeiros programas organizados de reciclagem do vidro como alternativa para a economia de energia, após a crise do petróleo em 1973. Segundo NEDER(1995) cerca de 35%, em média, de todo o vidro descartado na Europa é reciclado, estando em primeiro lugar a Bélgica com 60%, seguido pela Holanda com 57%, Suíça e Austria com 56% e 54%, respectivamente, Alemanha Ocidental com 53%, Itália com 42% e França com 38%. Ainda conforme o autor supracitado, no Brasil foram recuperadas 146.500t, o equivalente a 50% do vidro colocado no mercado, sendo que 73.500t de vidro eram oriundas da rede de clientes, distribuidores, comerciantes ou de quebras ocorridas em transportadoras e o restantes 73.000 provenientes do consumo domiciliar comercializado pela rede dos "sucateiros".

Reciclagem de metais

O alumínio é um metal nobre, não ferroso, extraído a partir da bauxita. É encontrado nos resíduos sólidos domiciliares, principalmente sob a forma de latas descartáveis de refrigerante e cerveja.

Segundo RICCO (1993) são necessárias cinco toneladas de bauxita para se obter uma tonelada de alumínio, devido as perdas durante a transformação. "Um outro ponto forte da reciclagem do alumínio é a economia de energia que chega a 95%, se comparada com o processo normal de transformação da bauxita em alumínio" (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO-ABAL, 1992, p.36).

O processo de reciclagem do alumínio consiste na refusão das latas. Posteriormente, separa-se a tinta e o verniz, sobrando apenas o alumínio na forma líquida, que é vazado para a formação dos lingotes. Obtido os lingotes estes são laminados e compactados, obtendo-se as folhas com espessura em torno de um centésimo de polegada.

O MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO(1982) mostra, por exemplo, que são consumidos cerca de 22.000KWh para a produção de uma tonelada de alumínio. Se considerarmos a produção nacional em 1992, que foi de 229.054t, o consumo foi de 6.579.188MWh, o equivalente a 4,9% do consumo brasileiro de energia. Segundo AMAZONAS(1991), em 1990, na fabricação do mesmo metal, foram consumidas cerca de 10% de toda energia produzida no país.

Uma outra questão que deve ser levantada refere-se ao impacto ambiental ocasionado pela mineração, mesmo que esta atividade venha a se desenvolver dentro das exigências de um estudo de impacto ambiental.

Apesar de ser o reciclável de maior valor para revenda no mercado de recicláveis, devido as características citadas anteriormente, segundo a ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO-ABAL(1992) sua taxa de reciclagem é modesta, ficando em torno de 62 mil toneladas, cerca de 17% da demanda de transformados de alumínio.

No caso de metais ferrosos, como latas e produtos metalúrgicos, o interesse pela reciclagem é ainda menor. Segundo BERGAMIN[3] apud MACHADO (1995) as empresas brasileiras de fabricação de embalagens metálicas produzem anualmente 430.000 a 510.000 toneladas de latas para os mais variados produtos. Apesar desta grande demanda somente um terço desta quantidade é recuperada pelas indústrias siderúrgicas usuárias desta sucata, sendo o restante dispostos em aterros ou lixões. Se considerada que a outra quantidade (dois terços) poderia substituir a importação de sucata, em função da escassez existente no mercado interno, o país teria uma economia da ordem de 45 milhões de dólares por ano.

Reciclagem do Plástico

As indústrias químicas, após décadas de pesquisa, desenvolveram variados tipos de plásticos com propriedades mecânicas diversas, ocasionando a difusão do produto em muitos ramos das indústrias como automotiva, brinquedos, embalagem e outras.

Basicamente os plásticos são divididos em termofixos e termoplásticos, sendo a maior parte das embalagens feitas de termoplásticos comuns como polietileno de baixa densidade(PEBD), polietileno de alta densidade (PEAD), polietireno de vinila (PVC), polietireno tereftalato (PET), poliproprileno (PP), poliestireno (PS) e outros.

A maior dificuldade na reciclagem do plástico obtido a partir dos resíduos sólidos domiciliares está ligada a grande variedade de famílias de plásticos existentes, necessitando de uma seleção prévia à reindustrialização que, na maior parte dos casos, não é realizada pelos centros de triagem e pelas usinas de reciclagem e compostagem,

---

[3]*BERGAMIN, F.N.* **Recuperação de sucata de latinha no Brasil**.*In:O LIXO COMO INSTRUMENTO DE RESGATE SOCIAL. Porto Alegre, Instituto Goetha/ Associação de ex-bolsistas da Alemanha, 1989 apud MACHADO, G.E. Estudo comparativo de custos da coleta seletiva e convencional de resíduos sólidos urbanos, no bairro Balneário Município de Florianópolis, S.C. Florianópolis,1995. p.132. Dissertação(Mestrado) - Uuniversidade Federal de Santa Catarina. 1995*

obrigando os recicladores a comprar juntos todos os tipos de plásticos, mesmo que seu interesse seja apenas por um determinado tipo. Do ponto de vista sanitário, o plástico reciclado possui qualidade duvidosa por causa de problemas de contaminação, não podendo, portanto, ser destinado para a fabricação de material de uso hospitalar, brinquedos ou embalagens que estejam em contato com o alimento. Mas, por outro lado, uma nova alternativa possibilita a fabricação de madeira plástica, através da mistura de vários tipos de plásticos, podendo ser utilizada na fabricação de estacas para cerca de arame farpado, bancos de praças, mourões, vigas entre outros.

Segundo SANTOS(1995), os plásticos levam de 200 a 350 anos para se degradar quando dispostos em aterros sanitários ou não. Um boletim informativo da CETEA (1989) mostra que apesar destes representarem apenas 10% em peso, são responsáveis por aproximadamente 30% do volume total dos resíduos sólidos domésticos, sendo um dos grandes responsáveis pela ocupação dos aterros no Brasil.

Reciclagem do Papel e Papelão

Conforme afirma CETEA(1989), o papel foi um dos primeiros materiais a ser reciclado, inclusive com sua reciclagem sendo considerada uma atividade tradicional, praticada a mais de 50 anos, principalmente junto aos resíduos comerciais. Esta reciclagem é realizada através do reaproveitamento das fibras celulósicas das aparas de papéis usados, que são desagregadas e hidratadas e depois passam por um processo de depuração e refinação. Finalmente faz-se a secagem e o acabamento.

O papel e papelão, depois da matéria orgânica, são os materiais mais abundantemente encontrados nos resíduos sólidos domiciliares da América Latina. Baseado em SALINAS[4] apud NEDER (1995) estima-se que a produção em 1988 foi de 266 milhões de toneladas e a previsão para o ano 2000 é de 317 milhões de toneladas.

De acordo com THE EARTH WORKS GROUPS (1991), cada tonelada de papel reciclado fornece uma quantidade de pasta de celulose equivalente a que seria obtida com 20 toras de eucalipto com 14cm de diâmetro e oito metros de comprimento, que

---

[4]*SALINAS, A.L.D.* **Evoluacion técnico- economico de los processo de reciclage de desechos domésticos, los casos del vidro, papel y plastico.***[s.l], [s. ed], Apostila de distribuição restringida, nov. 1993 apud NEDER, L.T.C. Reciclagem de resíduos sólidos de origem domiciliares: Análise de programas da implantação e da evolução de programas institucionais de coleta seletiva, em municípios brasileiros. São Paulo, 1995. Disertação(Mestrado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo*

necessitariam de 5 a 7 anos para atingir este tamanho e ocupariam uma área de 100 a 350m² para o plantio.

Conforme o MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO (1982), a economia de energia na reciclagem do papel varia de 30% a 50%, dependendo do tipo do papel, sem contar que a fabricação de uma tonelada de papel para impressão de boa qualidade requer o uso de 440.000 litros de água, enquanto que utilizando-se fibra secundária o consumo cai para 1.800 litros de água.

No Brasil, conforme SANTOS(1995), 30% do papel produzido é de origem reciclada, sendo que na Europa a taxa varia de 40% a 70%. Nos EUA e Canadá as taxas estão em torno de 24,4% e 10,4%, respectivamente.

As dificuldades na reciclagem do papel estão relacionadas com as impurezas agregadas ao produto comprometendo a sua qualidade.

Transformação da matéria orgânica em composto

Nos resíduos sólidos domiciliares a matéria orgânica é o seu principal componente. No Brasil ela representa de 50 a 60% em peso do total de resíduos descartados, enquanto todos os materiais recicláveis juntos não chegam a 30% do total. Portanto, a transformação da matéria orgânica em composto constitui-se em uma alternativa simples e de baixo custo para redução da quantidade de resíduos destinados ao aterro sanitário.

Conforme KIEHL(1981), um outro ponto muito favorável à transformação da matéria orgânica em composto reside no fato deste ser um ótimo condicionador de solo, aumentando substancialmente a atividade biológica, ajudando na mineralização e fixação dos macronutrientes.

A compostagem pode ser definida, segundo PEREIRA NETO(1988), como um processo de biodegradação e conseqüente humificação de compostos orgânicos desenvolvidos por uma população mista de microrganismos, compreendendo uma fase de aeração seguida de uma fase de maturação. A fase de aeração caracteriza-se por apresentar o desenvolvimento de temperaturas termofílicas, as quais devem ser mantidas na faixa de 50°C a 60°C, a fim de que sejam maximizadas as reações metabólicas de degradação, bem como a eliminação de eventuais microrganismos patogênicos. A fase de maturação, por sua vez, é caracterizada por desenvolver-se sob temperaturas mesofílicas, as quais aumentam a eficiência do processo de humificação dos materiais previamente

semi-estabilizados. De acordo com STENTIFORD(1986), existem mais de 35 métodos diferentes para a transformação da matéria orgânica em composto.

Segundo REZENDE(1993) o composto adivindo de usinas de reciclagem e compostagem, obtido a partir da matéria orgânica presente nos resíduos sólidos domiciliares, é de baixa qualidade. Isto se deve, ainda segundo o autor em tela, a presença de materiais inertes como vidro, plástico, pilhas, etc, além da incidência de metais pesados decorrente, em grande parte, da presença de metais e latas dentro dos biodigestores (equipamento responsável pela estabilização da matéria orgânica) que, devido a abrasão, contribuem para a contaminação do composto.

O processo de compostagem é provavelmente tão antigo quanto o do preparo do solo para fins agrícolas, pois a história revela que já os romanos possuíam um deus especial denominado *Stercus* para os resíduos orgânicos. Baseado em LINDENBERG, (1991) este processo de decomposição da parte orgânica, conseqüência da atividade dos microrganismos, é afetado pelo teor de umidade, disponibilidade de oxigênio (ar), granulometria, relação carbono/nitrogênio, pH e a temperatura, sendo, portanto, fundamental o controle da umidade e da temperatura para a obtenção de um composto de boa qualidade e livre de agentes patogênicos.

De acordo com PEREIRA NETO(1989), se a compostagem for desenvolvida segundo critérios básicos de controle ela será sempre um processo seguro, de grande eficiência no tratamento de resíduos orgânicos, flexível e de baixo custo, necessitando apenas de um monitoramento contínuo dos parâmetros que afetam o processo.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES

Previamente à realização de qualquer balanço de massa, conforme afirma GOMIDE(1968), é necessário conhecer o sistema em questão, definindo quantitativamente e qualitativamente a massa destinada ao sistema, denominada base de cálculo. A caracterização física (também chamada de *composição gravimétrica*) dos resíduos é, portanto, a forma de se definir a massa de resíduos sólidos domiciliares que entra em processo, por exemplo, em determinada usina.

Também vale destacar que a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares é a primeira e mais importante etapa para qualquer trabalho referente a tais resíduos, quer seja no planejamento da limpeza urbana, na orientação e determinação do

sistema mais adequado para o tratamento e disposição, quer seja como parâmetro do nível sócio-econômico de cada bairro de uma cidade.

Segundo BERRÍOS(1986) e ANDRADE(1992), os resíduos sólidos domiciliares possuem uma composição muito heterogênea que varia em função de vários fatores, entre eles:

• **Nível sócio-econômico da população que o produz**- Observa-se que em bairros onde o poder aquisitivo é maior a produção de recicláveis (embalagens) é mais significativa. Por outro lado, em bairros mais pobres a matéria orgânica está presente em maior quantidade. As caracterizações realizadas na cidade de Joinville (Tabelas 2 e 3) demonstram esta situação;

TABELA 2- Porcentagens, em base úmida, da matéria orgânica e dos materiais recicláveis, encontradas nos resíduos sólidos domiciliares de alguns bairros da cidade de Joinville-SC

BAIRROS	renda mensal (salário mínimo)	matéria orgânica (%)	papel e papelão (%)	plástico (%)	vidro (%)	metal não ferroso (%)	outros materiais (%)
AMÉRICA	mais que 8	38,15	28,37	13,37	0,98	1,41	17,72
SAGUAÇU	4 - 8	46,53	19,51	11,13	1,77	0,43	20,63
BOA VISTA	2 - 4	47,38	18,42	14,42	3,00	0,46	16,02
ITAUM	1 - 2	43,09	20,64	10,82	3,09	0,55	21,81
FÁTIMA	menos que 1	48,30	22,67	11,67	1,73	0,45	15,18

Fonte: SANTOS, 1995(Adaptada).

TABELA 3- Produção diária *per capita* (em g/hab.dia) de materiais recicláveis, em base úmida, segundo as classes sociais da cidade de Joinville-SC

BAIRROS	PLÁSTICOS (g/hab.dia)	VIDROS (g/hab.dia)	PAPEL E PAPELÃO (g/hab.dia)
AMÉRICA	18,8	29,1	105,3
SAGUAÇU	8,1	11,8	52,3
BOA VISTA	9,2	10,7	13,9
ITAUM	5,5	17,1	15,3
FÁTIMA	3,2	10,4	4,0

Fonte: Santos,1995.

• **Estações do ano-** Nas estações quentes e chuvosas do ano ocorre o aumento da porcentagem de umidade que, conseqüentemente, influencia no peso específico do lixo. Nestas estações é normal também um maior consumo de vegetais e frutas, aumentando a quantidade de matéria orgânica nos resíduos;

• **Costumes e hábitos da população-** As populações dos grandes centros urbanos produzem uma maior quantidade de embalagens, quando comparadas com as populações residentes em cidades menores e mais afastadas das capitais. Nas populações residentes nos grandes centros urbanos há uma preferência pelos alimentos já industrializados, prontos ou semi-prontos para consumo, resultando, portanto, em uma maior quantidade de embalagens descartáveis. Esta preferência é viabilizada pelo grande número de indústrias alimentícias e casas de *fast food*, nos centros urbanos. Ao contrário, em populações residentes em cidades menos desenvolvidas e afastadas das capitais esta proximidade do local de produção em relação ao local de consumo facilita a aquisição dos alimentos ainda *in natura*, livres das embalagens industriais. Observa-se ainda, nessas cidades, uma preservação do modo de preparo dos pratos, seguindo os costumes de uma época onde ainda não existiam os extratos de tomate, os temperos prontos, etc;

• **Clima predominante da região-** Em regiões de clima frio, por exemplo, originam-se os resíduos resultantes da calefação dos ambientes;

• **Dia da semana**.- Nos feriados e finais de semana o volume de lixo gerado é maior do que em dias normais;

• **Mudança na política econômica do país-** Planos econômicos que estabilizam a economia do país também contribuem para um aumento dos resíduos gerados.

Ademais, na determinação da composição gravimétrica "deve-se observar que, dentro de uma mesma comunidade, estes fatores vão se modificando com o decorrer dos anos e, portanto, pelo exposto, evidencia-se a necessidade de levantamentos periódicos, visando a atualização deste dado". (ANDRADE, 1992, p.2)

Antes de se iniciar a amostragem e subseqüente caracterização do lixo é necessário levantar algumas informações preliminares, referentes aos bairros de origem dos resíduos, tais como: nível sócio-econômico das áreas residenciais, principal atividade econômica, verificar se existe coleta especial para resíduos de serviços de saúde(lixo hospitalar) nos bairros em questão e a quantidade de lixo gerada em cada bairro. De posse destes dados do espaço amostral em questão importa também conhecer, a respeito do sistema de coleta, o seguinte: percurso de cada caminhão, número de caminhões por bairros(setores), número de viagens, tara e tipo(marca) de cada um. Concluída esta primeira etapa, escolhe-se o(s) caminhão(ões) que melhor represente(m) cada um dos

bairros e define-se o número de amostras, proporcionalmente a quantidade gerada em cada bairro.

Diante da heterogeneidade dos resíduos sólidos domiciliares um bom método de amostragem é imprescindível, pois, de certa forma, ela deve ser a mais representativa possível do todo, já que a amostragem integral se torna impossível.

Os vários métodos utilizados para se obter a amostra final possuem alguns pontos em comum. O quarteamento da amostra inicial como forma de redução do volume inicial de resíduos é um destes pontos e, basicamente, consiste em dividir em quatro partes iguais o volume inicial de resíduos, descartando-se sempre duas partes e juntando novamente as duas partes restantes. Em seguida, realiza-se novamente outro quarteamento. Um outro ponto comum a todas as amostragens é que todas são realizadas em base úmida. ANDRADE (1992), baseando-se em metodologia recomendada pelo Instituto Brasileiro de Administração Municipal-IBAM, indica, a seguir, algumas práticas para auxiliar na caracterização do lixo domiciliar:

• Selecionar amostras de lixo "solto" provenientes de diferentes áreas de coleta, a fim de obter resultados que se aproximem o máximo da realidade;

• Misturar, com auxílio de pás e enxadas, as amostras em um mesmo lote, antes rasgando-se os sacos plásticos, caixas de papelão e outros;

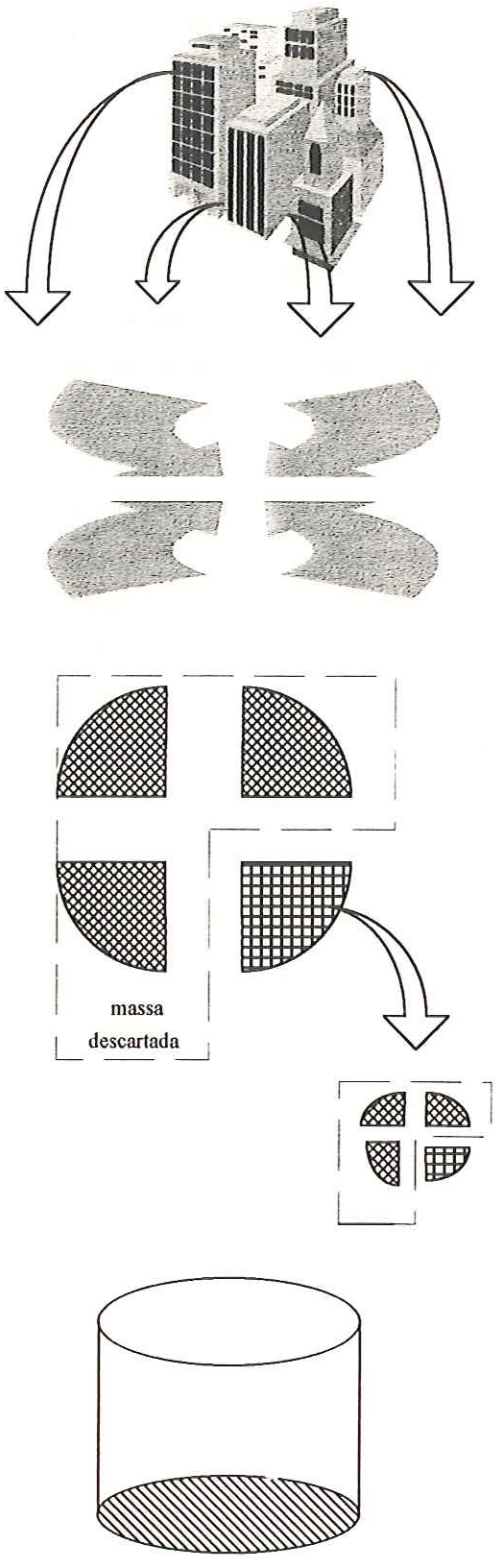
• Proceder quarteamentos sucessivos na massa de resíduos;

• Escolher um dos quartos do material;

• Escolher cinco recipientes de 200 litros de capacidade e com peso próprio conhecido;

• Encher os recipientes, até a borda, com o lixo do quarteamento escolhido.

Realizadas estas etapas, determina-se o peso líquido do lixo subtraindo-se do peso total dos latões(recipientes) cheios de lixo seus correspondentes pesos próprios. Em seguida escolhem-se, aleatoriamente, dois recipientes, para proceder a separação manual dos componentes. Determina-se o peso total de cada componente e, através de uma regra de três simples, obtém-se o percentual em peso de cada componente. A Figura 2 ilustra estes procedimentos



PRIMEIRA ETAPA: **Amostragem do lixo de várias regiões da cidade**

SEGUNDA ETAPA: **Mistura das amostras em um mesmo lote**

TERCEIRA ETAPA: **Quarteamentos sucessivos da massa de resíduos e escolha de um dos quartos**

QUARTA ETAPA: **Pesagem, em recipientes com peso próprio conhecido, do lixo quarteado**

FIGURA 2- Esquema para obtenção da amostra dos resíduos sólidos domiciliares segundo ANDRADE (1992)

O método pode ser um pouco diferente quando se deseja obter a amostra a partir de um caminhão coletor. Escolhido o caminhão este descarrega seu conteúdo em quatro montes aproximadamente iguais. Manualmente estes montes são revolvidos e misturados individualmente para, posteriormente, retirar-se, de cada um, um recipiente de resíduos com aproximadamente 100kg. Os recipientes são despejados em quatro montes, sobre uma manta plástica, e o conteúdo de cada um é misturado isoladamente para depois juntar-se dois a dois, formando dois montes de aproximadamente 200kg. Realiza-se então o primeiro quarteamento, desprezando duas partes de cada monte. Novamente os montes são agrupados dois a dois obtendo-se, agora, dois montes de aproximadamente 100kg cada um. Em seguida inicia-se o segundo quarteamento nos dois montes, desprezando novamente duas partes, resultando finalmente em dois montes de 50g que são juntados obtendo assim a amostra final. De posse da amostra esta deve ser espalhada sobre uma lona plástica onde se realiza a catação dos resíduos e, ao final, pesa-se cada grupo de componentes, para obter a porcentagem de cada um em relação ao peso total. Esta metodologia foi utilizada por GOMES(1989) e, segundo KLEE e CARRUTH (1970), tal quantidade de amostra é suficiente para as determinações, pois resultam em valores com precisão equivalente a obtida em amostras maiores. A Figura 3, a seguir, apresenta o fluxograma deste método.

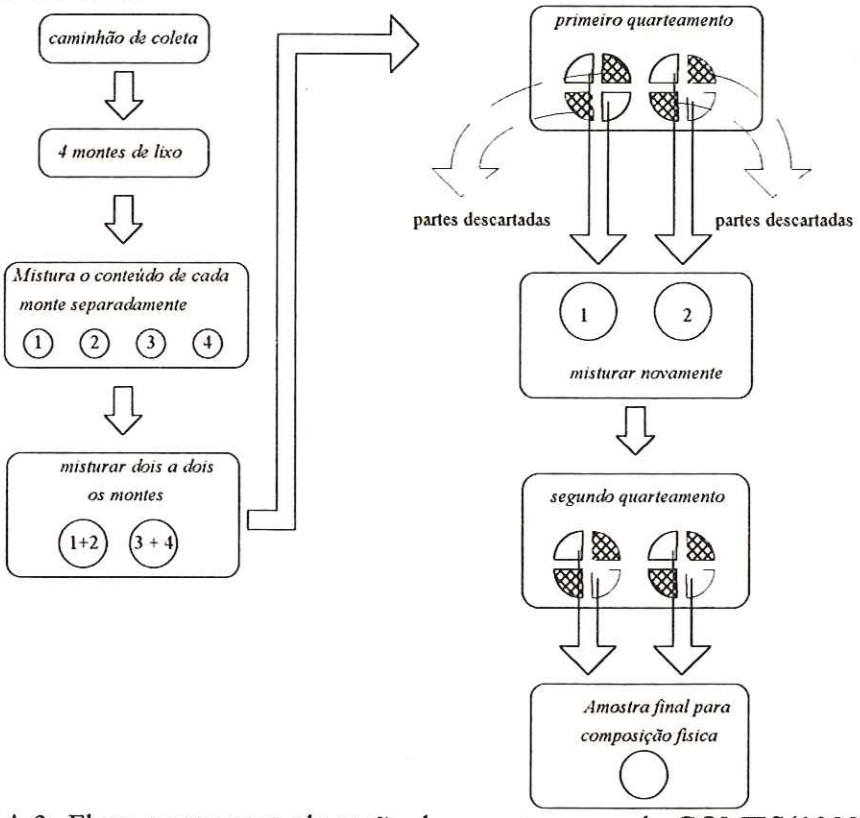


FIGURA 3- Fluxograma para obtenção da amostra segundo GOMES(1989)

De acordo com GROSSI(1993), um outro método de amostragem pode ainda ser utilizado quando o objetivo é obter uma amostra a partir de vários caminhões de coleta. Neste caso, retira-se de cada caminhão uma amostra de 200 a 300kg (correspondente a uma pá carregadeira) de material que são colocados em um mesmo local para depois serem misturados. Nesta etapa aproveita-se para retirar todo material grosseiro, a fim de, em seguida, realizar a catação e identificação de todos os componentes do lixo. Caso a quantidade de lixo selecionada para caracterização seja muito grande utiliza-se o método do quarteamento para reduzir a massa final. A Figura 4, a seguir, ilustra este método.

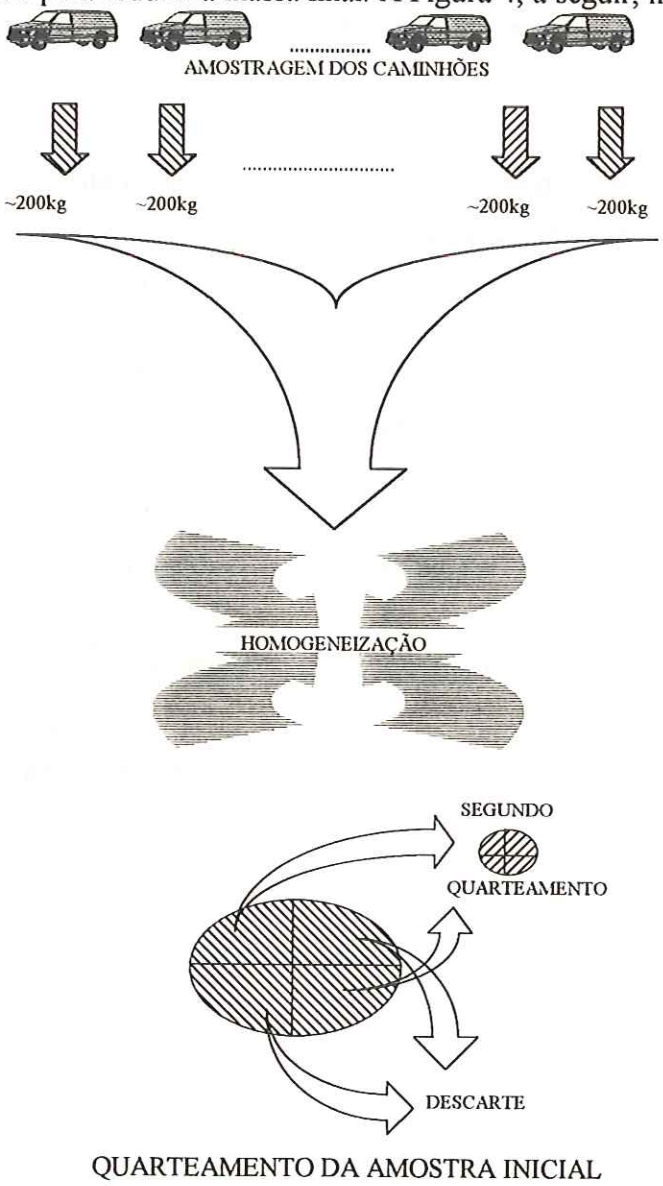


FIGURA 4- Esquema para obtenção da amostra segundo GROSSI (1993)

Antecedendo a caracterização dos resíduos sólidos domiciliares deve-se ter em mente qual a utilização final dos resultados, para se estabelecer o critério a ser adotado na divisão dos componentes do lixo bruto. Geralmente a divisão dos componentes baseia-se no grau de biodegradabilidade de cada um. Segundo sugere LIMA(1988), a divisão dos componentes pode ser a seguinte: matéria orgânica; papel e papelão; trapo, madeira e borracha; vidros; metais e plásticos.

3.3 SISTEMAS OPERACIONAIS DAS USINAS DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM VISITADAS

A existência de vários tipos de sistemas operacionais, utilizados nas usinas de reciclagem e compostagem, exige que para a escolha de um entre eles em determinado trabalho, como no caso desta pesquisa, tais sistemas sejam conhecidos com razoável grau de aprofundamento. Na prática isto se dá, também, através de visitas às instalações. Neste trabalho, portanto, os sistemas visitados são os mencionados e descritos a seguir.

Na cidade do Rio de Janeiro:
- SIMPLIFICADO ou PRÓPRIO (no bairro de Irajá)
- TRIGA (no bairro de Caju)
- DANO (em Jacarepaguá).

No Estado de São Paulo:
- SANECOM(na cidade de Araraquara)
- MAQBRIT(na cidade de Franca)
- DANO (Distrito de São Matheus-S.P).

SISTEMA SIMPLIFICADO ou PRÓPRIO- É um sistema composto por fosso de recepção, ponte rolante com caçamba do tipo pólipo, esteira de triagem ou catação (Figura 5) e descarga, sendo o extrator magnético retirado do processo. A usina do bairro de Irajá, na cidade do Rio de Janeiro, foi fundada em 1977 com capacidade para 150 t/dia e, atualmente, processa 450 t/dia de resíduos, com um quadro de 18 funcionários. Nesta usina praticamente todos os sacos passam fechados pela esteira de catação.

FIGURA 5- Esteira de catação do sistema SIMPLIFICADO ou PRÓPRIO, no bairro de Irajá, na cidade do Rio de Janeiro

SISTEMA TRIGA- A usina de reciclagem e compostagem do bairro do Caju, na cidade do Rio de Janeiro, foi fundada em novembro de 1992. Na ocasião da visita a usina encontrava-se paralisada, funcionando apenas como estação de transbordo. Segundo observação do gerente operacional da usina, o processo original da mesma foi alterado fazendo-se vários "by pass", tornando-o mais simplificado. Tal usina conta com 72 funcionários por turno, quando em operação, e as etapas que compõem o processo são: fosso de recepção, alimentador, esteira para catação de garrafas, peneira primária, esteira de catação, triturador, higienizador e peneira de afinagem. As Figuras 6, 7 e 8, a seguir, mostram algumas etapas do processo neste tipo de sistema.

FIGURA 6-Fosso de recepção do sistema TRIGA, na cidade do Rio de Janeiro

FIGURA 7-Peneira rotativa do sistema TRIGA, na cidade do Rio de Janeiro

FIGURA 8-Higienizadores do sistema TRIGA, na cidade do Rio de Janeiro

SISTEMA DANO- O sistema DANO da usina do bairro de Jacarepaguá, no Rio de Janeiro, foi inaugurado em 1992. A usina processa, atualmente, cerca de 560 t/dia, em dois turnos, com 180 funcionários no total. O sistema é constituído por fosso de recepção, ponte rolante do tipo pólipo, moega de alimenação, peneira primária, esteira de composto, esteira de triagem primária, extração pneumática, eletroímã, bioestabilizadores, peneira secundária, esteira de triagem secundária e separador balístico, conforme fluxograma da Figura 10. As Figuras 9, 11 e 12 a seguir, mostram o fosso de recepção, a esteira de composto (ao fundo a peneira primária) e a esteira de triagem primária, respectivamente.

FIGURA 9- Fosso de recepção - Usina de Jacarepaguá, RJ

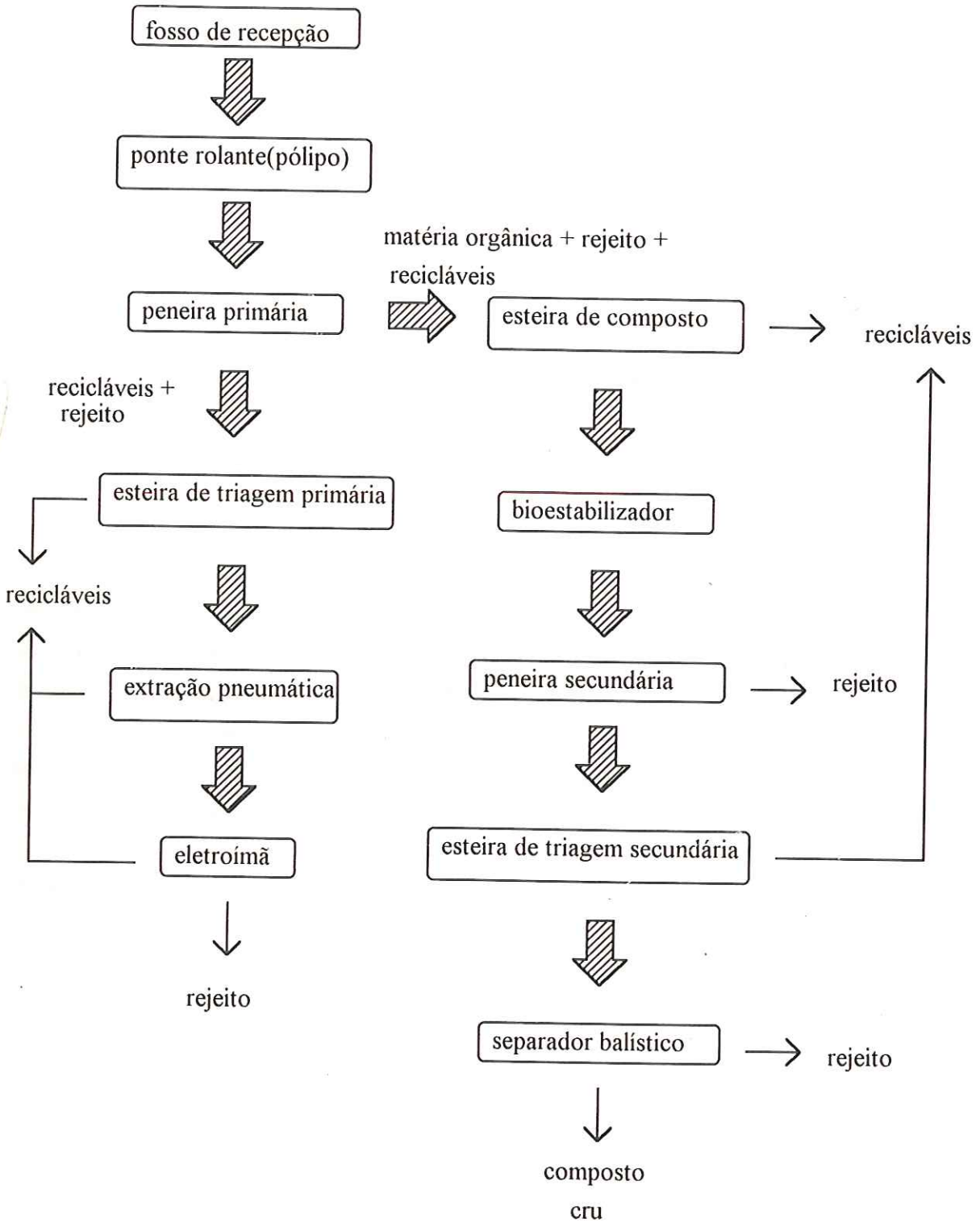


FIGURA 10-Fluxograma do processo no sistema DANO- Usina de Jacarepaquá

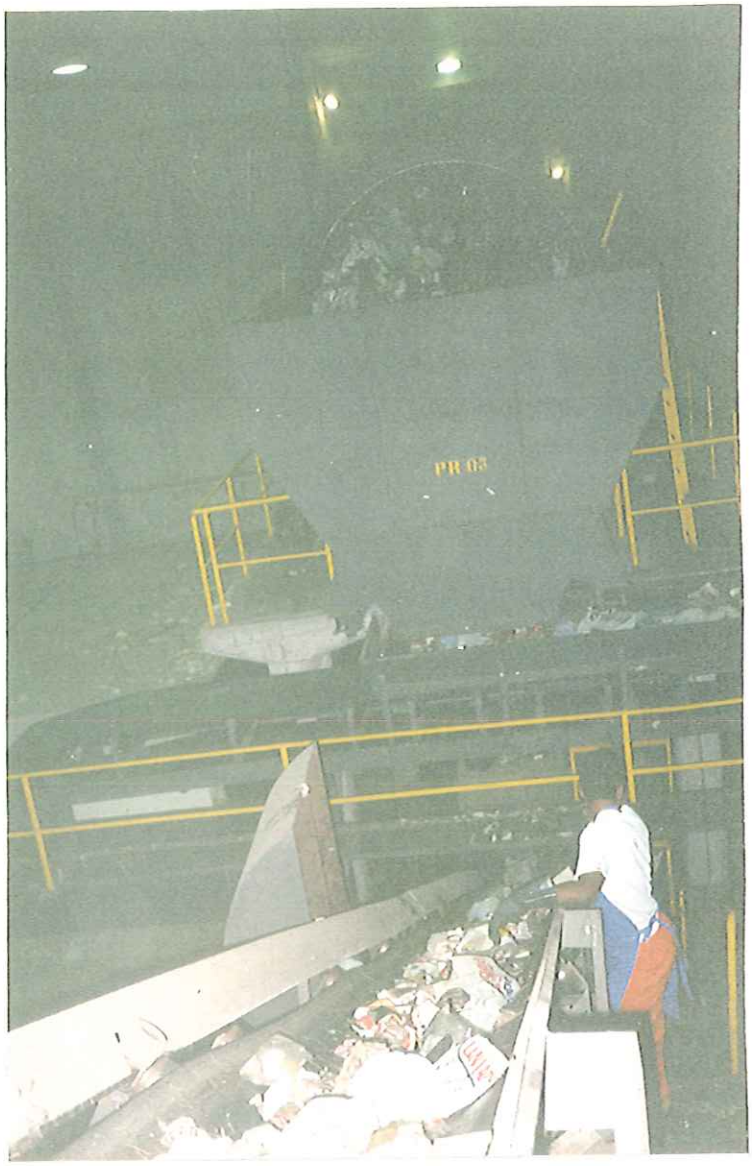


FIGURA 11- Esteira de composto e peneira primária - Usina de Jacarepaguá, RJ

FIGURA 12- Esteira de triagem primária - Usina de Jacarepaquá, RJ

SISTEMA SANECOM- O sistema SANECOM é composto por fosso de recepção dotado de esteira para alimentação do processo, sistema para dosagem dos resíduos, esteira de triagem dos materiais recicláveis e moinho. Após a trituração dos resíduos no moinho a matéria orgânica e uma parte dos materiais inorgânicos triturados são destinados ao pátio de compostagem, para a cura do composto. Após a finalização da primeira etapa do processo biológico o composto é destinado a uma peneira rotativa, para separação dos materiais inertes.

A usina de reciclagem e compostagem de Araraquara foi fundada em 1988 com capacidade nominal de 150 t/dia, sendo processadas em média cerca de 40 t/dia. A área total ocupada pela usina é de 78.000 m², incluindo o pátio de cura do composto. A seguir, o fluxograma do processo da usina (Figura 13) e, mais adiante, nas Figuras 14 e 15 é mostrada a vista geral e a esteira de catação da usina de Araraquara.

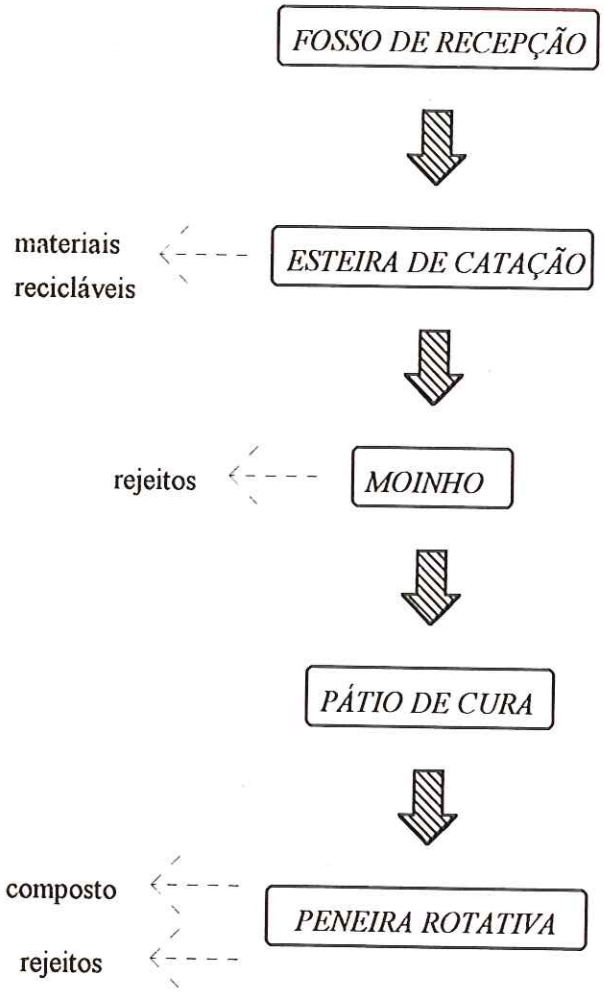


FIGURA 13- Fluxograma do sistema SANECOM da cidade de Araraquara

FIGURA 14- Vista geral da usina de Araraquara- Sistema SANECOM

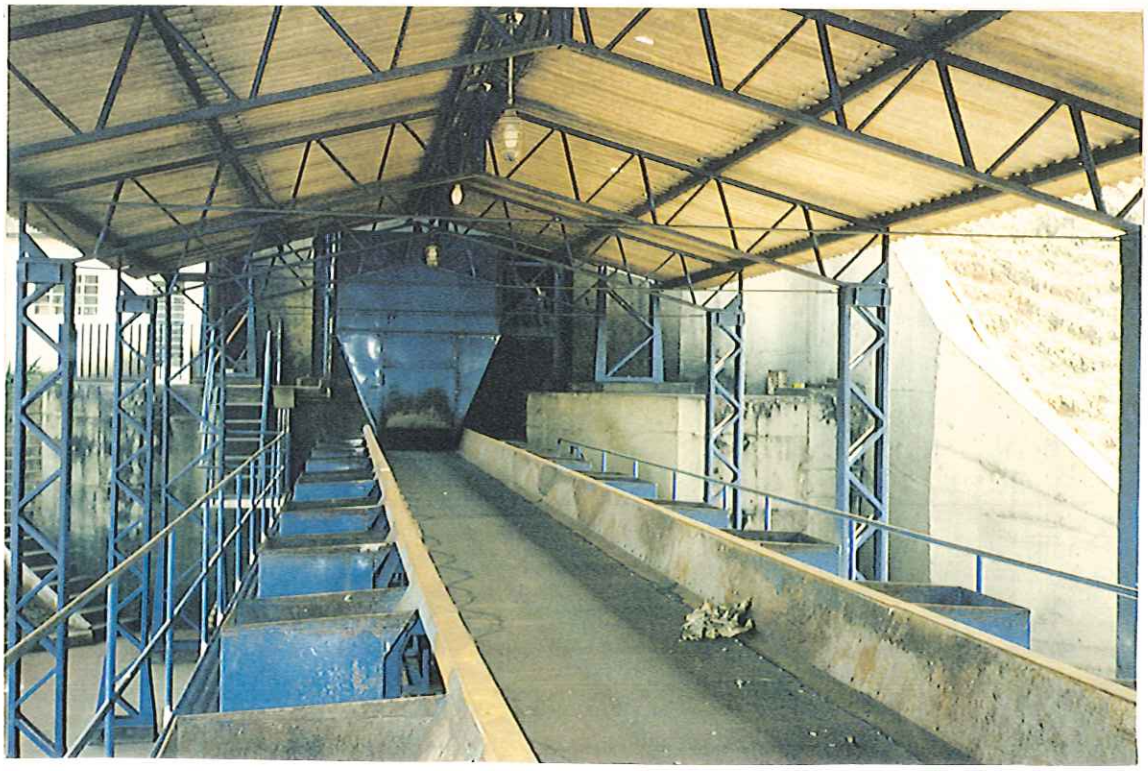
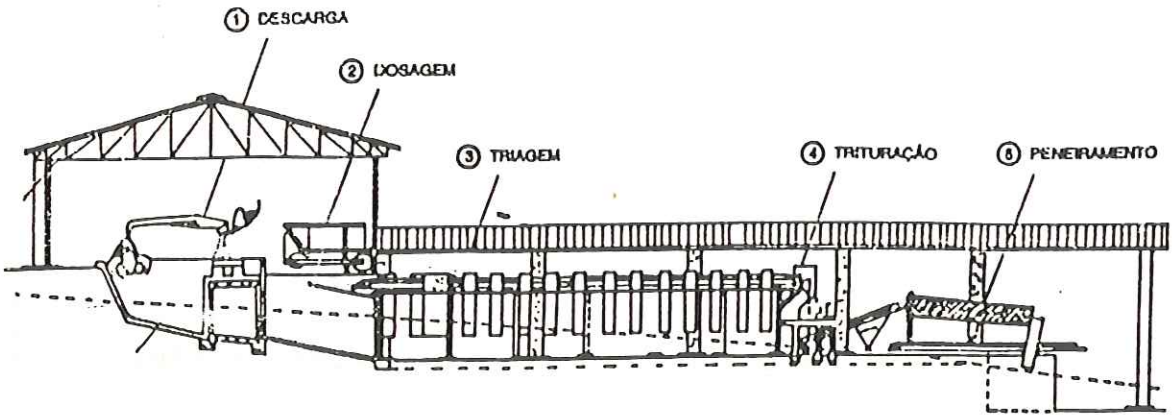


FIGURA 15- Esteira de catação da usina de Araraquara- Sistema SANECOM

SISTEMA MAQBRIT- O sistema utilizado na cidade de Franca recebe apenas os materiais inorgânicos provenientes da coleta seletiva existente em alguns bairros da cidade, não havendo, portanto, a compostagem da matéria orgânica. O esquema geral do sistema MAQBRIT é constituído por: fosso de recepção, guindaste com caçamba tipo pólipo, dosador, esteira de triagem, moínho e peneiramento (Figura16).



1-Fosso e guindaste

2-Dosagem

3-Esteira de triagem

4-Trituração

5-Peneiramento

FIGURA 16- Esquema geral de uma usina do sistema MAQBRIT

SISTEMA DANO(S.P)-A usina do sistema DANO - localizada em São Matheus, na cidade de São Paulo -, onde foi realizada a pesquisa, é descrita a seguir com mais detalhes no item 3.4.

3.4 CARACTERÍSTICAS DA USINA DE RECICLAGEM E COMPOSTAGEM DE SÃO MATHEUS-SP

3.4.1 Informações preliminares

Segundo o DEPARTAMENTO DE LIMPEZA PÚBLICA DE SÃO PAULO-LIMPURB(1995), a cidade de São Paulo gerou, nos meses de janeiro a maio de 1995, uma média de 15 a 16 mil toneladas de resíduos sólidos por dia, sendo, em média, 60% de origem domiciliar, 1% de serviços de saúde, 6% de varrição e 33% de entulho.

Para o tratamento e a destinação final de toda esta quantidade de resíduos sólidos, o sistema de limpeza pública da cidade de São Paulo conta com duas usinas de reciclagem e compostagem, a de São Matheus e a de Vila Leopoldina, que recebem em média 8% dos resíduos; dois incineradores(Vergueiro e Ponte Pequena) que tratam cerca de 1,6% do lixo e os aterros sanitários de Itatinga, Bandeirantes e São João, que recebem em torno de 90,4% dos resíduos sólidos gerados, além dos rejeitos das usinas de reciclagem e compostagem e as cinzas dos incineradores. Para finalizar, um centro de triagem para materiais recicláveis, localizado nas antigas instalações do incinerador de Pinheiros, desativado em 1989, recebe diariamente cerca de seis a oito toneladas de material diariamente.

A usina de São Matheus foi projetada segundo o sistema DANO. Suas atividades foram iniciadas em 1970, com capacidade para processar 150 toneladas/dia, com três biodigestores. No ano seguinte, com a finalização do quarto biodigestor, a capacidade chegou a 200 toneladas/dia. Em 1981, com a substituição das peneiras vibratórias por peneiras rotativas, a capacidade de processamento foi ampliada para 600 toneladas/dia.

A usina funciona em dois turnos, ou seja, das 6:00 às 14:00 horas e das 14:00 às 22:00 horas, com dois intervalos de 10 minutos, um as 9:00 horas e outro as 16:00 horas. Apesar de funcionar 16 horas, a média de trabalho dos biodigestores fica em torno de 10 a 12 horas por dia, devido a parada para limpeza e problemas com o embuchamento(entupimento) dos biodigestores. No quadro de funcionários, a usina conta com 116 pessoas ligadas a produção e a manutenção e mais 7 na parte administrativa.

A usina de reciclagem e compostagem de São Matheus está localizada na regional de São Matheus, zona leste de São Paulo, conforme mostra a Figura 17.

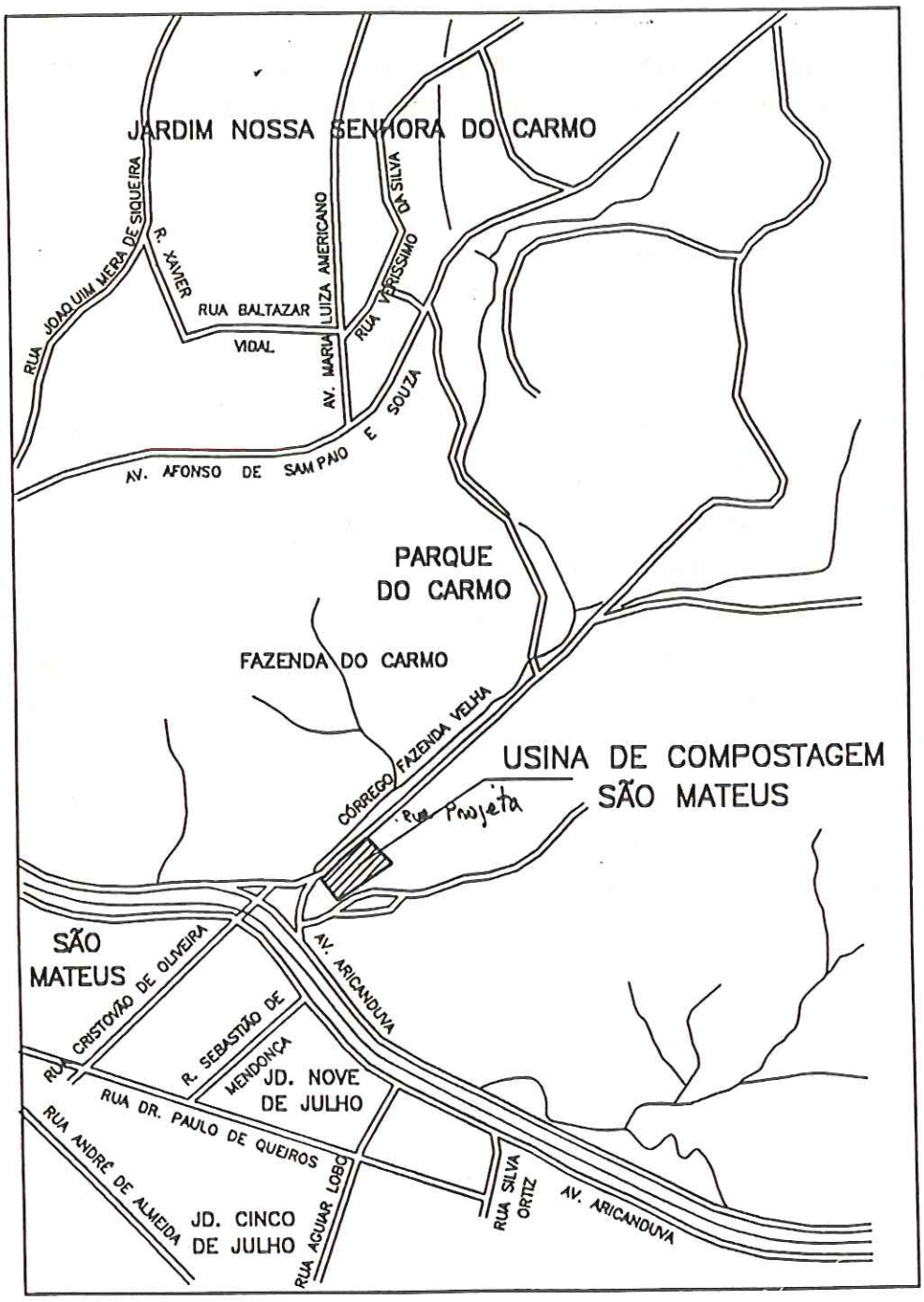


FIGURA 17-Mapa da localização da usina de São Matheus-S.P

A operação da usina de reciclagem e compostagem de São Matheus é terceirizada para a empreiteira Enterpa, a qual recebe, da Prefeitura de São Paulo, R$ 8,84 por tonelada processada, quando a porcentagem de rejeito obtido é menor que 48% do peso total dos resíduos processados e, R$ 8,57 por tonelada processada para porcentagem de rejeito acima de 48%, estando incluido neste valor o transporte dos rejeitos ao aterro sanitário. As despesas de manutenção e reforma, como também a receita obtida com a venda dos recicláveis são repassadas à prefeitura. As contas de energia, em média, estão em torno de R$ 7.464,00 por mês, sendo também pagas pela prefeitura de São Paulo.

Os preços praticados na venda dos recicláveis obtidos na usina são: R$ 0,02 /tonelada de composto crú, R$ 10,00 / tonelada de vidro, R$ 40,00 / tonelada de plástico duro, R$ 22,00 / tonelada de sucata de ferro, R$ 15,00 / tonelada de latas de primeira, R$ 5,50 / tonelada de latas de segunda, R$ 325,00 / tonelada de cobre/alumínio e R$ 29,00 / tonelada de papelão. A média mensal obtida com venda dos recicláveis e do composto em 1995 foi de R$ 9.665,13 por mês.

3.4.2 Características sócio-econômicas das regionais que destinam os resíduos sólidos domiciliares à usina de São Matheus

Os resíduos sólidos destinados à usina de São Matheus são estritamente domiciliares, provenientes da zona leste de São Paulo ou mais especificamente das regionais de Guaianazes, São Matheus, Itaquera, São Miguel Paulista, Penha e Vila Prudente (Figura 18), sendo a maior quantidade oriunda de Itaquera. As regionais são divididas em setores menores, que determinam as rotas dos caminhões coletores, agilizando o sistema de coleta e transporte dos resíduos sólidos domiciliares.

Todas as regionais citadas anteriormente possuem sistema de coleta especial para os resíduos de serviços de saúde. Ressalte-se ainda que, no que se refere às características sócio-econômicas das regionais citadas, a situação é a que se descreve a seguir.

Segundo o IBGE(1991) as regionais de Itaquera, São Matheus e Guainazes apresentam densidadade populacional entre 5.001 a 10.000 hab/km^2; Penha e Vila Prudente apresentam-na entre 10.001 a 15.000 hab/km^2, enquanto que em São Miguel Paulista a densidade varia entre 15.001 a 20.000 hab/km^2.

Quanto a distribuição de renda das regionais, publicação da PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO (1987), estabelece para Itaquera, São Matheus, Guaianazes e São Miguel Paulista, respectivamente, uma cota de até dez salários mínimos (em média) por família. Penha e Vila Prudente apresentam-na entre 10,1 a 15 salários mínimos por família. A taxa de emprego, ainda segundo a mesma publicação,

corresponde a 0,5 emprego por habitante em todas as regionais supracitadas. Ademais, todas as regionais são consideradas basicamente residenciais.

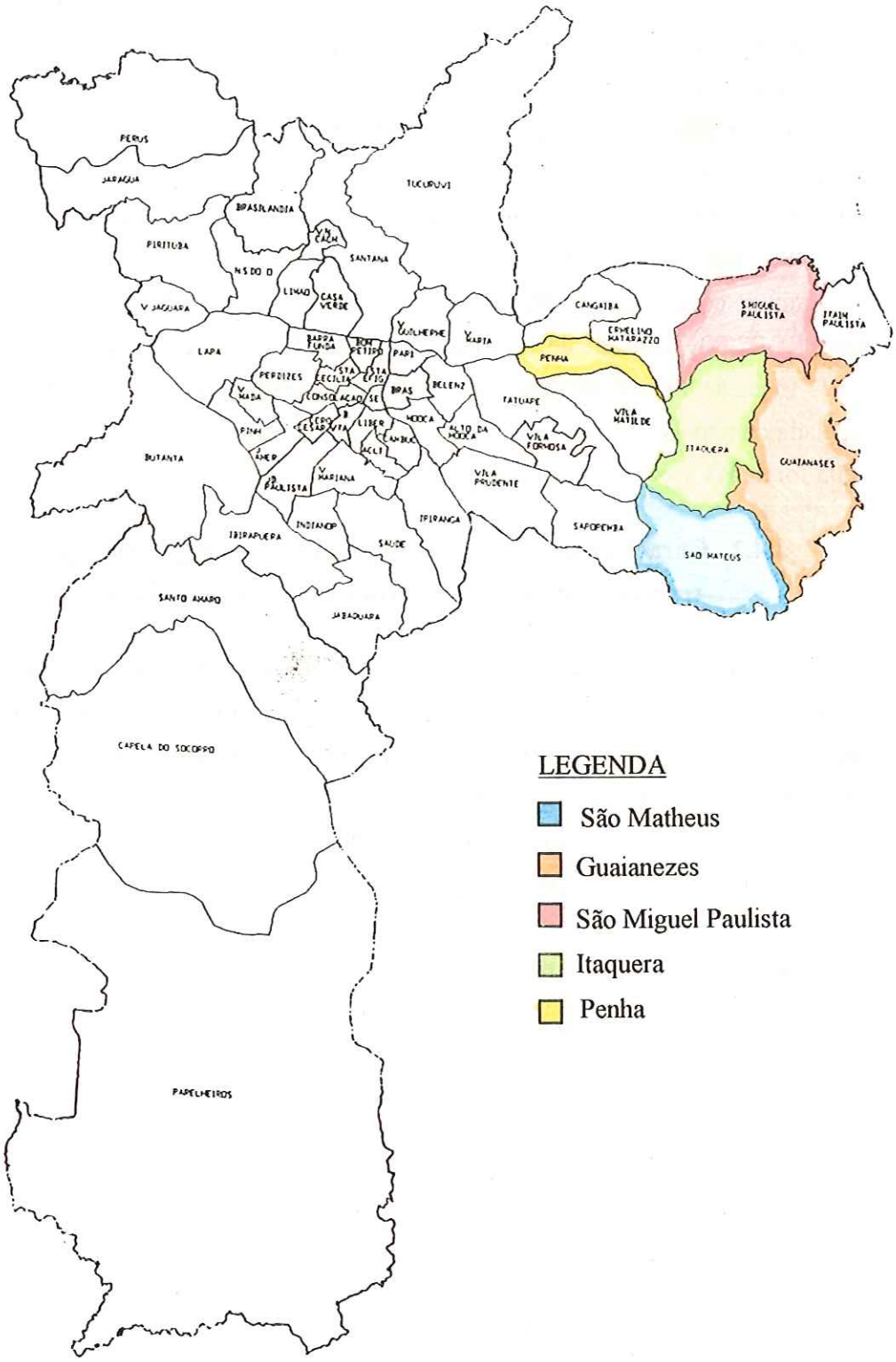


FIGURA 18- Mapa de localização das regionais de São Paulo

3.4.3 Descrição do processo e dos equipamentos

A usina de reciclagem e compostagem de São Matheus possui quatro linhas paralelas de processamento, sendo todas iguais e independentes. Em comum a todas as linhas apenas a esteira que transporta as latas retiradas pelo eletroímã (latas de primeira) e duas esteiras que transportam os rejeitos, uma para as linhas 1 e 2 e outra para as linhas 3 e 4. A capacidade de processamento de cada linha é, em média, de 12 a 13 toneladas por hora, sendo processada, de janeiro a julho de 1995, a quantidade média de 12,4mil toneladas por mês, dando em média 600 toneladas/dia.

Segundo LIMA(1988), o sistema DANO pode ser dividido em seis etapas: recepção, triagem manual, seleção magnética, bioestabilização, além de peneiramento e cura do composto no pátio, conforme a descrição a seguir:

• Recepção e Pesagem: Os resíduos são diretamente dispostos no fosso, o qual é provido de chão movediço que bascula o lixo na esteira tranportadora, alimentando o sistema;

• Triagem Manual: Após a esteira transportadora o lixo é descarregado na esteira de triagem, onde os operários realizam a separação dos produtos;

• Seleção Magnética: Os metais ferrosos são separados através de um eletroímã colocado sobre a esteira de triagem;

• Bioestabilização: É a parte mais importante do sistema, onde os resíduos orgânicos são fermentados aerobicamente para formar o composto. O bioestabilizador consiste em um cilindro metálico rotativo, medindo de 25 a 30 metros de comprimento e 3,5 metros de diâmetro. O cilindro gira continuamente fazendo com que o lixo seja triturado por abrasão. O tempo de detenção da massa no bioestabilizador varia de 3 a 4 dias e nesse período a temperatura, umidade e o pH do meio são monitorados para controle do processo biológico;

• Peneiramento: Após a fermentação o composto é peneirado para a retirada dos materiais inertes, como por exemplo: cascalho, pedras, pedaços de vidro, etc, os quais são destinados ao aterro;

• Cura do composto: O composto, livre de inertes, é colocado no pátio de cura onde permanece por um período de 90 a 120 dias.

Semelhante a divisão sugerida pelo autor supracitado, a usina de reciclagem e compostagem de São Matheus é composta por recepção e pesagem, fosso de recepção, triagem manual, eletroímã, bioestabilizador, peneira rotativa, separador magnético, separador balístico do composto para as latas de segunda, cura e peneiramento do composto curado. A seguir, a Figura 19 mostra o fluxograma da usina de São Matheus.

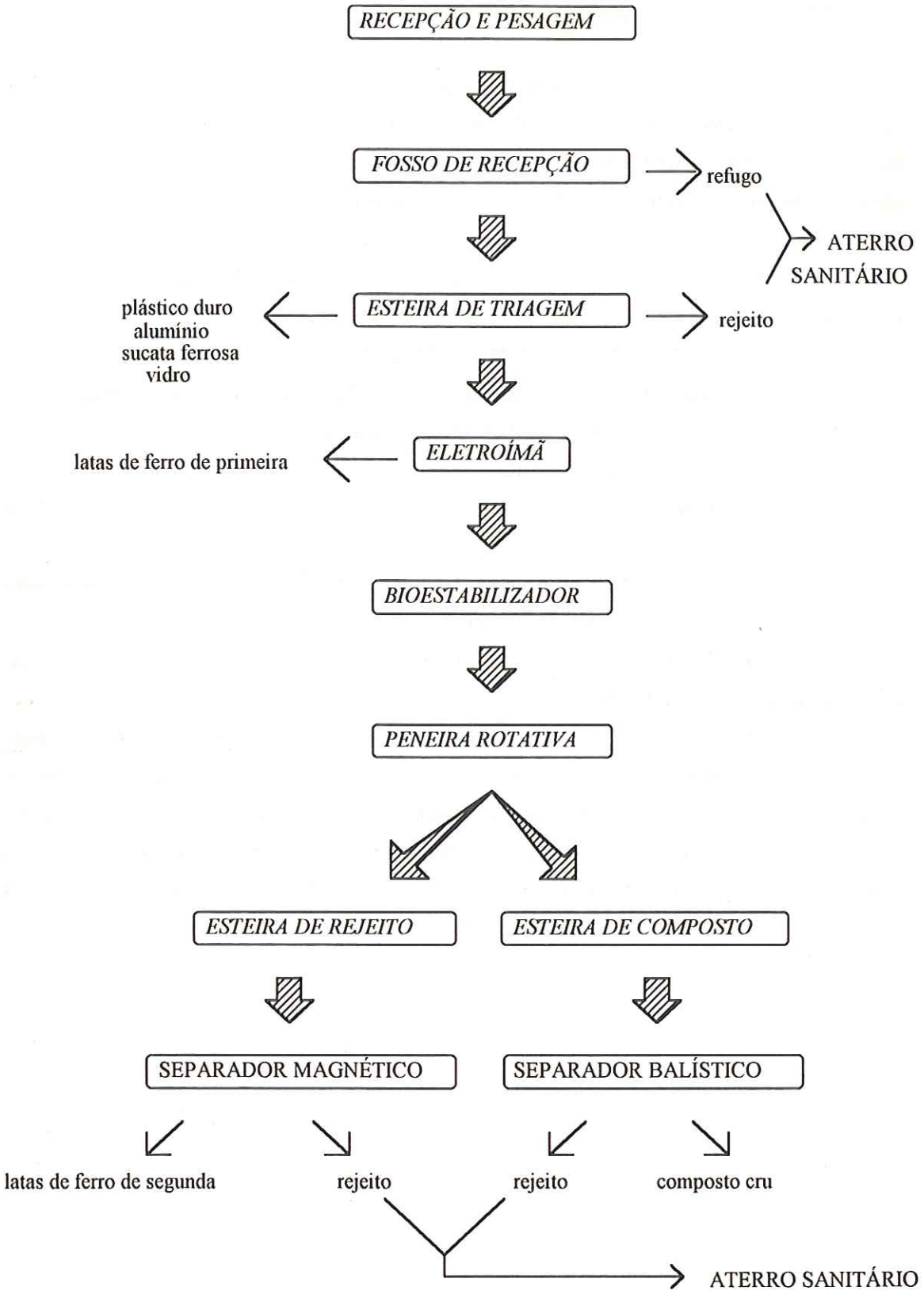


FIGURA 19-Fluxograma da usina de São Matheus

Recepção, pesagem e fosso de recepção

Na recepção realiza-se a identificação e pesagem dos caminhões que chegam à usina de reciclagem e compostagem de São Matheus. O controle é feito através de uma balança (capacidade 30t) interligada a um terminal de computador, onde estão cadastradas todas as informações referentes aos veículos que realizam a coleta regular dos resíduos domiciliares. Ao chegar um caminhão coletor, digita-se o número da placa do veículo e, em seguida, é emitido um ticket que fornece tara, peso bruto, peso líquido, regional e o respectivo setor de origem, hora de chegada e saída e o nome da empreiteira responsável pelo veículo.

A usina possui quatro fossos iguais, um para cada linha de processamento, com dimensões de 2,10m de largura,10,0m de comprimento e 3,15m de profundidade. Cada fosso (Figuras 20 e 21) é provido de chão movediço, que consiste em uma esteira metálica com saliências, movida por um motor elétrico com potência de 7,5 cavalo vapor(cv). A finalidade deste equipamento é alimentar e dosar (homogeneizar) a quantidade de resíduo destinado à esteira de catação.

Após a pesagem e identificação os caminhões coletores descarregam os resíduos em um pátio em frente aos fossos de recepção, neste momento são retirados os materiais grosseiros que podem danificar o chão movediço ou causar embuchamento(entupimento) na saída dos biodigestores. Após a separação, tratores do tipo pá carregadeira jogam os resíduos nos fossos, para alimentar o processo.

FIGURA 20-Fosso de recepção do lixo- Usina de São Matheus

FIGURA 21 -Fosso de recepção que alimenta o processo-Usina de São Matheus

Triagem manual e eletroímã

A mesa de catação ou esteira de triagem (Figura 22) é uma das etapas mais importantes do processo, pois a qualidade do composto e dos recicláveis está diretamente ligada a sua eficiência.

A esteira de catação ou mesa de catação possui 10m de comprimento e 0,76m de largura. Sua velocidade é de 15m/minuto, movida por um motor elétrico de 5 cv. Durante

esta etapa dois a quatro catadores em cada linha realizam a triagem dos materiais recicláveis.

Em cada esteira existem quatro dutos para coletar e armazenar os materiais triados manualmente (Figura 22). O primeiro é destinado para os plásticos duros de todos os tipos. O segundo, destina-se para vidros quebrados e cacos. O terceiro recolhe papelão e o último é destinado aos refugos, que são materiais como cordas, madeiras, arames e grandes pedaços de tecido e couro, que podem causar o embuchamento(entupimento) na saída dos biodigestores. A descarga dos materiais dos dutos é realizada no piso inferior, com a abertura das portas sobre um caminhão basculante (Figura 23).

Além dos dutos, são colocados latões, ao lado da esteira de catação, que recolhem sucata ferrosa, alumínio e materiais grosseiros. As garrafas e os vidros inteiros também são recolhidos, em separado, e armazenados em caixas plásticas.

No final da mesa de catação um eletroímã sobreposto a esteira (Figura 24) retira os materiais ferrosos (principalmente latas) e descarrega-os em uma esteira transportadora comum a todas as linhas. Esta esteira, posteriormente, leva o material até o ponto de descarga fora do prédio. Nesta etapa as latas são chamadas **latas de primeira** e as latas obtidas depois do biodigestor são denominadas **latas de segunda**.

FIGURA 22-Esteira de triagem ou mesa de catação- Usina de São Matheus

FIGURA 23-Descarga dos materiais triados na esteira de catação-Usina de São Matheus

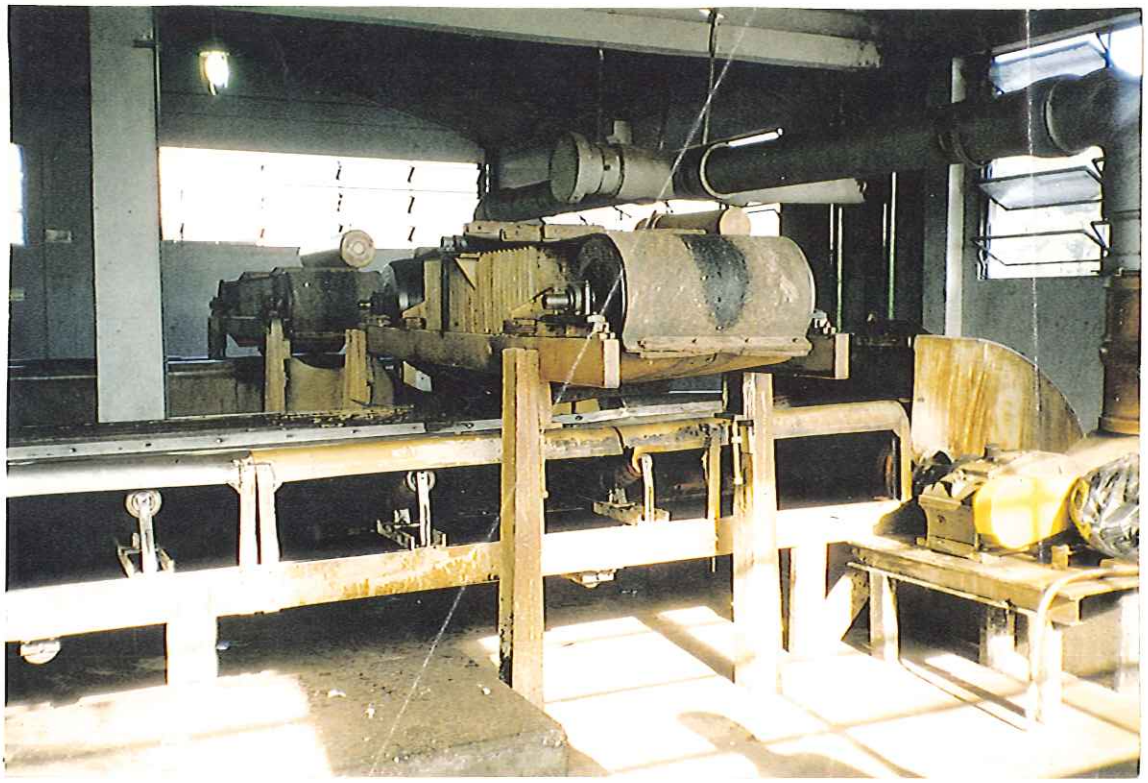


FIGURA 24-Eletroímã sobreposto a esteira de triagem-Usina de São Matheus

Bioestabilizador

Os resíduos, após passarem pela esteira de catação e pelo eletroímã, caem através de uma calha no interior do bioestabilizador. Este bioestabilizador (ou biodigestor), conforme mostra a Figura 25, consiste em um cilindro metálico com diâmetro de 3,5 metros e comprimento de 29 metros. Seu movimento é acionado por um motor elétrico de 125cv, acoplado a um redutor que imprime uma rotação de 2 rotações por minuto(rpm). Ao longo das paredes internas possui cantoneiras com o perfil " T " que trituram e rasgam os materiais. Apesar de estar previsto em catálogos, o insuflamento de ar, assim como o monitoramento do pH e da temperatura, não são realizados na usina.

A função deste equipamento é a de realizar a primeira etapa da decomposição da matéria orgânica, conhecida como estabilização, por um processo aeróbio. O tempo de detenção dos resíduos no interior do biodigestor depende da altura do lixo no seu interior, esta altura por sua vez é determinada pela abertura da porta de saída dos mesmos.

O maior problema apresentado por este equipamento é o embuchamento, pois materiais como cordas, arames e pedaços de pano vão se enrolando em outros materiais ao longo do biodigestor até adquirir um tamanho maior do que a abertura de saída. Neste caso, é necessário parar o equipamento e retirar a" bucha" com facas e garfos. O tempo de trabalho de cada biodigestor varia de 10 a 12 horas por dia.

FIGURA 25-Bioestabilizador-Usina de São Matheus

Peneira rotativa

Os resíduos, após passarem pelo biodigestor, são descarregados na peneira rotativa (Figura 26) que consiste em um cilindro de 8,75m, com furos de 7/8"(0,22m) de diâmetro e que gira a 13,64 rpm, acionado por um conjunto coroa-pinhão acoplado a um motor de 5cv. A peneira possui, ainda, uma inclinação vertical para possibilitar um fluxo contínuo e, na extremidade final, uma grande abertura descarrega os resíduos do seu interior impedindo o acúmulo de materiais.

Este equipamento tem como finalidade separar a matéria orgânica destinada à compostagem dos outros materiais (plástico filme, sapatos, latas, plástico duro, etc.). A matéria orgânica, tendo uma granulometria menor que 7/8", passa através dos orifícios até cair em uma esteira transportadora de composto, situada abaixo da peneira. Além disto, os outros materiais permanecem na peneira até a extremidade final, quando então são descarregados na esteira de rejeito.

FIGURA 26.-Peneira rotativa-Usina de São Matheus

Esteira de rejeito e separador magnético

A esteira de rejeito localiza-se depois da peneira rotativa e é movida por um motor elétrico de 5cv. Sua finalidade é transportar o rejeito da peneira rotativa até o pátio. Nesta esteira existe uma segunda catação, realizada por um funcionário que retira o plástico duro, o alumínio e a sucata ferrosa, antes do rejeito ser descarregado no pátio para ser encaminhado ao aterro.

No final da esteira de rejeito, existe o separador magnético que separa as latas ferrosas dos outros materiais. O sistema do separador magnético baseia-se em magnetizar o último rolete no qual a esteira de rejeito está apoiada, assim, ao passar qualquer material ferroso tais como latas e moedas, por exemplo, este permanece aderido a esteira por um pequeno intervalo de tempo suficiente para desviar sua queda até a canaleta mais externa, enquanto que os outros materiais caem mais perpendicularmente à esteira, nas canaletas internas (Figura 27).

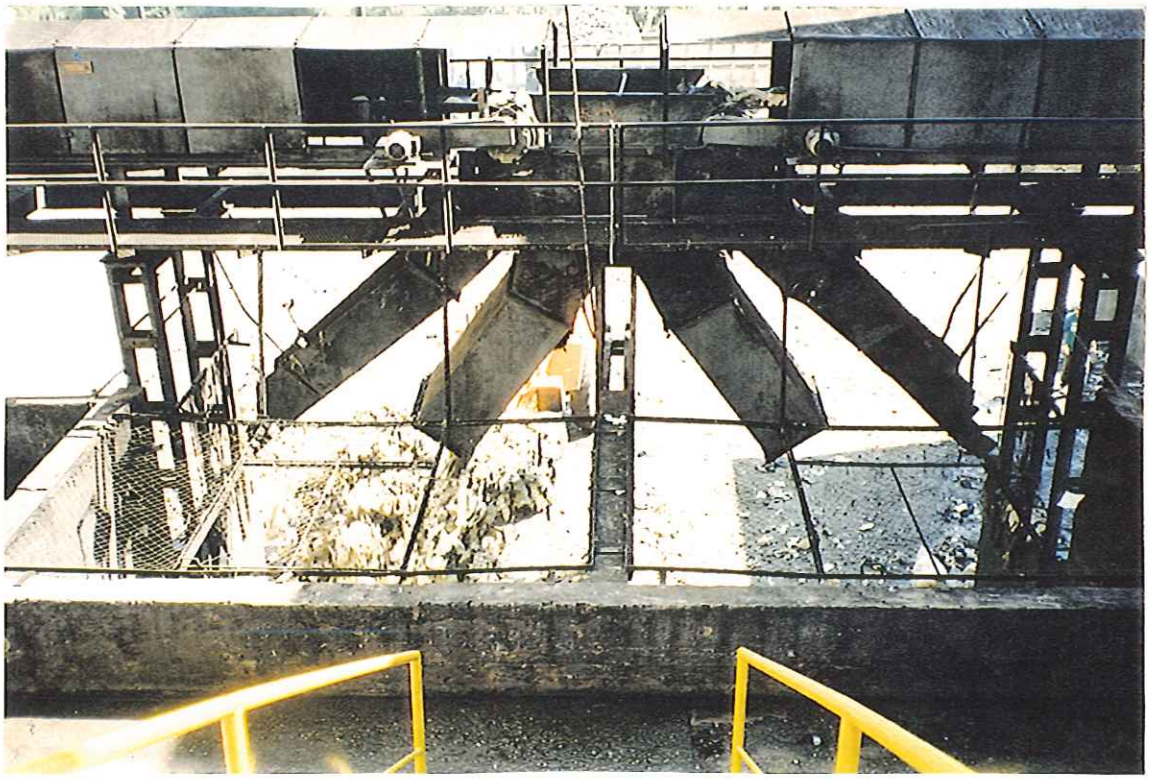


FIGURA 27-Separador magnético-Usina de São Matheus

Separador balístico

Depois da matéria orgânica ter passado pela peneira rotativa, uma esteira transportadora leva este material até um **separador balístico**, que separa os materiais pesados(tampinha de garrafa, pedras, etc) da matéria orgânica. O **separador balístico** nada mais é do que uma esteira na vertical, onde a matéria orgânica, por ser mais leve, sobe pela esteira e o material mais pesado escorrega no sentido contrário ao movimento da esteira, caindo em local separado.

Pátio de cura do composto e peneira

A matéria orgânica, já separada dos inertes, é finalmente descarregada no pátio de cura. Na usina sob estudo este local é asfaltado, porém não possui drenagem nem tratamento do chorume o que faz com que, em épocas de chuva, o chorume escoe para as canaletas de águas pluviais sendo lançado no Córrego da Fazenda, que desemboca no rio Aricanduva. Uma peneira giratória com malha de 12mm é utilizada para peneirar o composto já curado, a fim de ser obtido o composto fino.

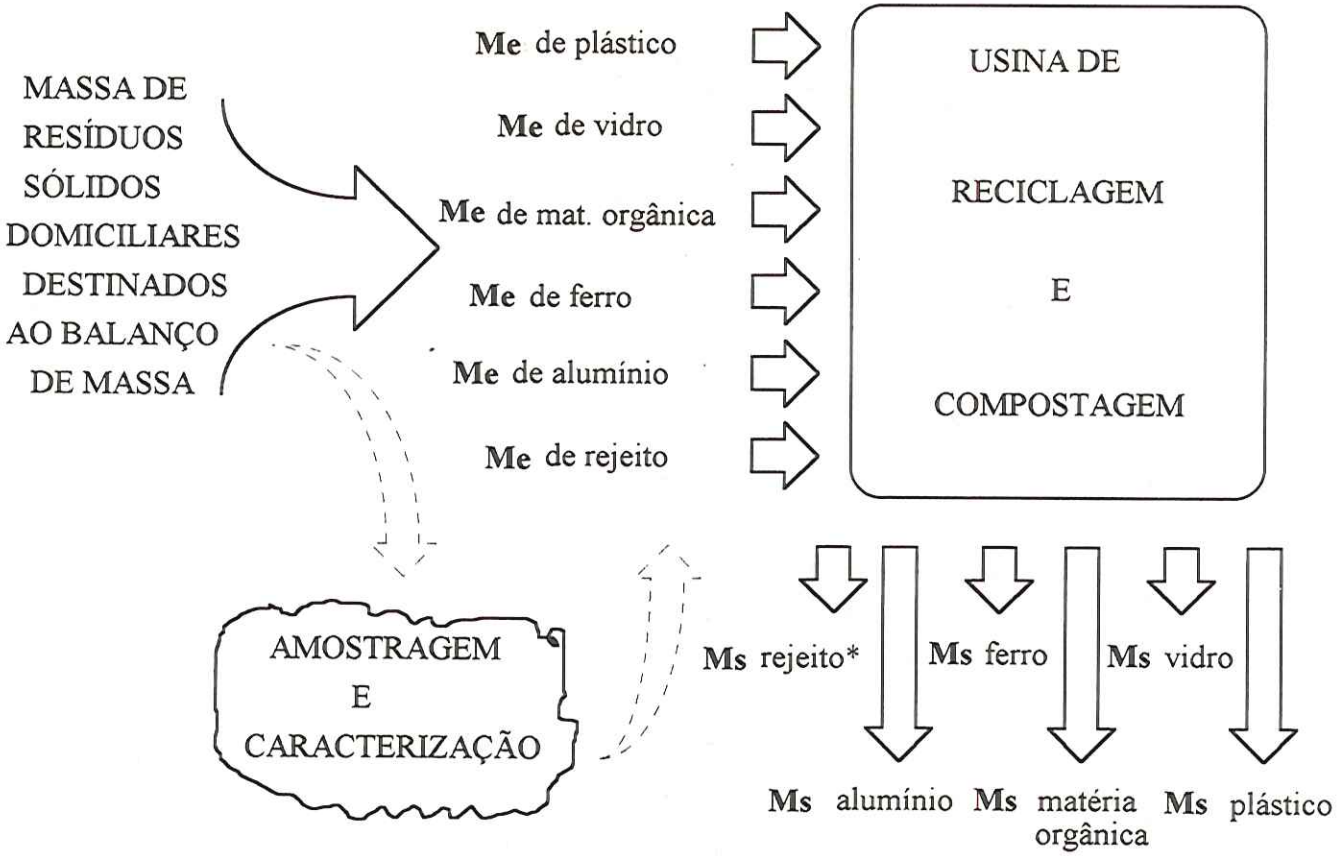
4 METODOLOGIA

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, no período de março a julho foram feitas visitas a seis usinas de reciclagem e compostagem do lixo, em dois Estados do Brasil. Três usinas (dos sistemas SIMPLIFICADO ou PRÓPRIO, TRIGA E DANO) encontravam-se localizadas na cidade do Rio de Janeiro-RJ e as outras três (dos sistemas SANECOM, MAQBRIT e DANO) no Estado de São Paulo. Todas, convém lembrar, já citadas no capítulo anterior.

Assim, para determinar a eficiência de remoção dos materiais recicláveis presentes em determinada quantidade de resíduos sólidos domiciliares, e também para determinar a eficiência da transformação da matéria orgânica em composto, em ambos os casos quando os resíduos são processados em uma usina em condições normais de operação, optou-se pelo sistema DANO da usina de reciclagem e compostagem de São Matheus, principalmente por ser o sistema mecanizado mais utilizado em nosso país. Outras condições, referentes a usina, também contribuíram para a realização do trabalho, como por exemplo: a existência de balança para pesagem dos caminhões, quantidade de resíduos processada diariamente acima de 500 toneladas, caracterizando uma usina de grande porte e, por último, por ela estar operando com plena capacidade, visto apresentar todas suas quatro linhas com seus respectivos equipamentos funcionando.

Isto posto, é oportuno citar que, como a eficiência foi obtida em função de um balanço de massa, houve preliminarmente a necessidade de se definir a entrada do sistema, o que se deu por meio da **caracterização física(composição gravimétrica)** dos resíduos. Para o **balanço de massa** uma determinada massa de resíduos foi processada no sistema, em condições normais de operação, sendo delimitada por traçadores no início e no fim. Finalmente, após o processamento da massa de resíduos foi feita a comparação entre a quantidade de recicláveis que entraram no sistema e a quantidade destes que foi recuperada ao longo do processo.

A seguir, apresenta-se a Figura 28 que esquematiza como o trabalho foi feito e, também, descrevem-se, pormenorizadamente, suas partes constituintes (uso de traçadores, caracterizações e balanço de massa).



Me : Massa de entrada de cada material

Ms : Massa de saída de cada material

Eficiência: Ms/Me

Ms rejeito* : é constituída pelos materiais não triados durante o processo.

FIGURA 28- Esquema para a realização do balanço de massa na Usina de São Matheus

4.1 Definição das condições preliminares de contorno para a realização do balanço de massa

Antes de se iniciar o balanço de massa foram realizados alguns testes(quatro, no total) nos biodigestores para, com o uso de traçadores(garrafas de plástico PET, de dois litros, pintadas por dentro), determinar o tempo de detenção dos resíduos no seu interior e, assim, estimar o tempo que a massa de resíduos, a ser utilizada no balanço de massa, levaria para percorrer o bioestabilizador.

Como todas as linhas de processamento - incluindo os biodigestores - eram exatamente iguais, os testes foram realizados apenas nos biodigestores das linhas 1 e 2.

O primeiro teste consistiu em colocar, ao mesmo tempo (as 10:40h), oito garrafas plásticas (traçadores) vermelhas na entrada do bioestabilizador da linha 1 para, em seguida, marcar o tempo que estas demoravam para serem identificadas na esteira de rejeito, após o bioestabilizador. A fim de verificar se a influência do peso era significativa três destas garrrafas foram colocadas contendo um litro de areia cada uma e as outras cinco permaneceram vazias. Neste primeiro teste a altura do lixo dentro do bioestabilizador estava em torno de dois metros

No segundo teste, também realizado no bioestabilizador da linha 1, foram colocadas, às 15:40h, oito garrafas alaranjadas sendo cinco vazias e três contendo um litro de areia cada uma. Neste segundo teste a altura do lixo dentro do bioestabilizador também estava em torno de dois metros.

O terceiro e quarto testes foram realizados na linha 2, optando-se, porém, por utilizar apenas garrafas vazias. Isto porque com apenas os dois primeiros testes verificou-se não ser possível estabelecer qualquer relação entre o peso e o tempo de detenção. Ademais, como o interesse estava em determinar o comportamento dos recicláveis dentro do bioestabilizador, os traçadores foram colocados nas mesmas condições em que as garrafas chegavam à usina, ou seja, vazios. Estes testes também foram realizados nos mesmos moldes dos anteriores, portanto com a altura do lixo dentro dos bioestabilizadores em torno de 2,20 metros. Além disto, no terceiro teste foram utilizadas 15 garrafas e no quarto teste foram utilizadas oito garrafas, novamente. É conveniente salientar que, durante os testes, notou-se que o tempo de detenção dos resíduos dentro do bioestabilizador estava diretamente relacionado com a altura dos resíduos no seu interior, o qual, por sua vez, depende da abertura da porta de saída dos biodigestores. Portanto, os tempos obtidos são relativos a esta condição de trabalho,ou seja, altura do lixo dentro dos biodigestores variando de 1,80m a 2,20m.

Após a finalização dos testes realizados nos bioestabilizadores 1 e 2 observou-se, durante os quatro testes, que os traçadores saiam em diferentes intervalos de tempo dificultando a determinação exata do tempo de detenção e, conseqüentemente, prejudicando a identificação precisa do início e do fim da massa que seria utilizada no balanço de massa. Para contornar esta situação resolveu-se, então, descartar uma quantidade de massa no início e no final da saída dos traçadores, sendo considerada como uma massa de transição.

Realizou-se ainda, preliminarmente, aos quatro balanços de massa, a definição(padronização) das condições de contorno (operação) que poderiam influenciar nos resultados daqueles balanços, baseando-se para isso em observações e informações obtidas *in loco*. As condições de trabalho seriam, portanto, as condições normais de operação ou seja: velocidade da esteira de catação em 15m/min, 4 catadores em cada uma e 1 catador após os biodigestores para retirar os materiais recicláveis.

Foi estabelecido também que o melhor dia para se realizar o balanço de massa seriam as segundas-feiras, pois a limpeza realizada aos sábados coincidia com as necessidades do trabalho, a seguir relacionadas:

- retirada de todo o lixo contido nos quatro fossos de recepção, para evitar a mistura da massa de resíduos em estudo com outros resíduos que permaneciam no fosso de um dia para outro, alterando a quantidade inicial;
- limpeza de todos os dutos de coleta dos materiais recicláveis, existentes na mesa de catação.

4.2 Caracterização dos resíduos sólidos domiciliares para definição da entrada do sistema para realização do balanço de massa

A finalidade das quatro caracterizações foi determinar, em cada balanço de massa(total de quatro), a quantidade de cada material reciclável e de matéria orgânica que entraram no processo e, no final, comparar com as quantidades obtidas durante o respectivo balanço de massa.

O primeiro passo para a caracterização foi definir o número de caminhões e a quantidade de resíduos a ser processada, para fazer o balanço de massa. Optou-se por 12 caminhões coletores, correspondendo de 96 a 100 toneladas de resíduos ou, em média, 20% da massa total processada diariamente, pois, segundo COCHRAN &

WILEY(1978), esta porcentagem (20%) é representativa de toda a população de caminhões e apresenta um nível de confiança de 95% e margem de erro de 5%.

O segundo passo foi a caracterização propriamente dita, a fim de determinar a porcentagem de cada um dos materiais recicláveis e também da matéria orgânica presentes nos resíduos dos caminhões coletores. A caracterização baseou-se no procedimento adotado por GROSSI (1993), descrito no capítulo precedente. Para tanto, foi coletada uma amostra com cerca de 200 kg de cada caminhão(em um total de 12) e, em seguida, todas foram homogeneizadas (misturadas) com auxílio de uma pá carregadeira, para depois realizar o quarteamento, conforme descrito no item 3.2, até obter uma quantidade com cerca de 500 kg que finalmente foi caracterizada. As Figuras 29 e 30 a seguir, ilustram a amostragem e o quarteamento realizado.

FIGURA 29- Amostra retirada de cada caminhão coletor

FIGURA 30- Quarteamento da amostra inicial

A divisão e o agrupamento dos materiais contidos nos resíduos sólidos domiciliares baseou-se na própria separação realizada durante o processo da usina. No caso do papel, por exemplo, este não é triado na esteira de catação, sendo encaminhado juntamente com a matéria orgânica para a compostagem, portanto, resolveu-se agrupá-los. Já o papelão, como é separado na esteira, foi considerado em um grupo à parte. No caso dos plásticos, apenas os plásticos duros são selecionados na esteira de catação, enquanto os plásticos filmes são encaminhados ao aterro sanitário, sendo necessário quantificar na caracterização as porcentagens de cada um, separando-os em dois grupos. Os metais foram separados em dois grupos: ferrosos e não ferrosos, pois cada um é triado de forma diferente durante o processo. Assim sendo, os metais ferrosos são triados no eletroímã, enquanto que os não ferrosos são triados manualmente na esteira de catação. Ao final foram formados os dez grupos seguintes:

- grupo 1: plástico duro de todos os tipos;
- grupo 2: vidro claro e escuro;
- grupo 3: latas e pequenas peças de alumínio;

•grupo 4: latas de ferro (folha de flandres);
•grupo 5: sucata ferrosa tais como armações, peças de carro, pedaços de chapa, etc;
•grupo 6: matéria orgânica e papel de todos os tipos (higiênico, embalagens, revistas, jornais, etc);
•grupo 7: papelão;
•grupo 8: plástico filme;
•grupo 9: borracha (chinelo, tapetes, etc), couro(bolsas, sapatos, etc), madeira, isopor e espuma (almofadas, revestimentos, etc);
•grupo 10: trapos.

Os grupos 1,2,3,4,5 e 7 eram constituídos por materiais recicláveis triados no processo. O grupo 6, constituído por matéria orgânica e papel, destinava-se à compostagem. Os grupos 8, 9 e 10 foram considerados no processo da usina como rejeitos, sendo destinados ao aterro sanitário. Isto posto, realizaram-se quatro caracterizações físicas, uma para cada balanço de massa, dos resíduos sólidos domiciliares destinados à usina de São Matheus-S.P, tomando-se como base na formação dos grupos de cada tipo de resíduo os mesmos dentre os dez grupos de componentes originados durante o processamento.

4.3 Balanço de massa

Segundo GOMIDE(1968), a massa alimentada durante um certo intervalo de tempo em um sistema aberto é igual a massa que sai mais a massa que ficou acumulada no sistema durante o intervalo de tempo considerado, o que de modo simplificado pode ser traduzido em uma equação que resume o balanço de materiais em sistemas abertos,ou seja:

(massa que entra no sistema)-(massa que sai)=massa acumulada (1)

Considerando o processo da usina de reciclagem e compostagem estudada como sendo um sistema aberto e impondo-lhe uma condição de equilíbrio, onde os bioestabilizadores estejam trabalhando em regime, com a altura dos resíduos no seu interior mantendo-se praticamente constante, pode-se considerar que não há acúmulo de massa durante o processo pois, caso contrário, com o decorrer do trabalho os bioestabilizadores ficariam com todo o seu volume preenchido ou então vazios, o que não ocorre na prática.

Para visualizar melhor a eficiência de cada uma das etapas do processo, este foi dividido em duas partes, a primeira englobando a esteira de catação e o eletroímã e a segunda, constituída por bioestabilizador, peneira rotativa, esteira de rejeito e separador balístico. Na primeira parte são retirados apenas os materiais recicláveis, como por exemplo o plástico duro, papelão, alumínio, vidro, sucata ferrosa e latas de ferro, além dos refugos, que são os materiais grosseiros constituídos por arames, cordas, sacos de pano, etc que podem causar entupimento (embuchamento) dos bioestabilizadores. Já na segunda parte são obtidos o composto, as latas de ferro de segunda, os rejeito e uma pequena parte de plásticos duros e latas de alumínio, que não foram triados na primeira etapa. O fluxograma para aplicação da equação do balanço de massa na primeira e segunda etapas do processo da usina, é mostrado na Figura 31 a seguir.

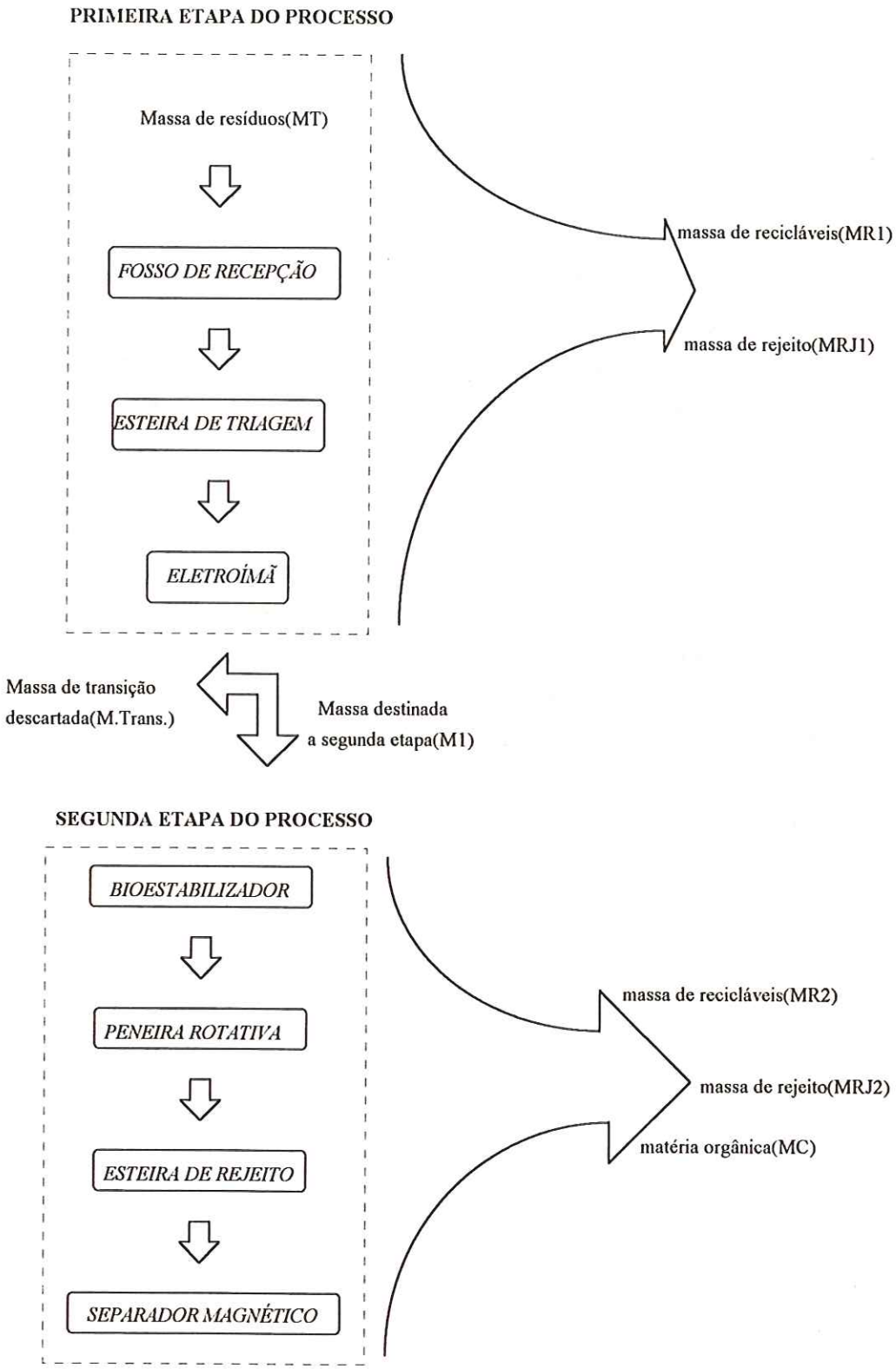


FIGURA 31- Fluxograma do balanço de massa

A partir da Figura 31 supramencionada deduz-se que:

MT=MR1+MRJ1+M Trans.+M1 (Kg) (2)

M1=MC+MRJ2+MR2 (Kg) (3)

sendo,

MT= massa total de resíduos ou base de cálculo(MT) utilizada no balanço de massa. É formada pela massa utilizada no trabalho menos a massa destinada ao quarteamento. Massa total de resíduos sólidos domiciliares que entra no sistema;

MR1= massa de recicláveis obtida na primeira etapa (processo de triagem e eletroímã), composta por plástico duro, vidro, alumínio, papelão, latas de ferro e sucata ferrosa, ou pelos grupos 1, 2, 3, 4, 5 e 7 da caracterização dos resíduos sólidos domiciliares;

MRJ1= massa de rejeito retirada na primeira etapa do processo, composta por materiais que podem causar embuchamento dos bioestabilizadores;

M.Trans= massa de resíduos descartada durante o balanço de massa, considerada como uma massa de transição entre a massa sob estudo(MT) e os outros resíduos em processo;

M1= massa de resíduos destinada à segunda etapa do processo (M1=MT-MR1-MRJ1- Massa de transição);

MC= massa de composto obtida na segunda etapa do processo, composta por matéria orgânica e papel (grupo 6 da caracterização);

MRJ2= massa de rejeito obtida na segunda etapa do processo, composta por plástico filme, borracha, madeira, couro e trapos (grupos 8, 9 e 10 da caracterização);

MR2= massa de recicláveis, composta por plástico duro, latas de segunda e alumínio recuperada na segunda etapa do processo, grupos 1, 3 e 4 da caracterização.

No trabalho foram realizados quatro balanços de massa. Os dois primeiros englobaram todo o processo, ou seja, primeira e segunda etapas, enquanto que nos dois últimos balanços apenas a primeira etapa do processo foi considerada. Isto porque, durante o terceiro e o quarto balanços de massa realizados o acúmulo de composto no patío, inviabilizou a limpeza dos pontos de descarga de composto, bem como a limpeza dos pontos de descarga de lata de segunda e de rejeito na segunda etapa do processo. Segundo informações do responsável, nesta época do ano a venda de composto é muito

reduzida, caindo para menos da metade. Portanto, não se realizou a caracterização dos rejeitos destinados ao aterro sanitário e o balanço de massa foi finalizado na primeira etapa.

Todos os balanços, nas manhãs de segundas-feira, começavam com a identificação do peso líquido, bem como da regional e do respectivo setor dos 12 primeiros caminhões que chegassem à usina, sendo que cada linha recebeu uma quantidade equivalente a três caminhões. As Tabelas 4, 5, 6 e 7 mostram a procedência, quantidade e a distribuição dos resíduos nas linhas de processamento durante os quatro testes.

Depois de alimentados os fossos das quatro linhas, eram colocados seis traçadores (garrafas) na entrada de cada um dos quatro bioestabilizadores, como mostra a Figura 32. Estes traçadores eram 6 garrafas azuis no bioestabilizador 1, 6 garrafas vermelhas no bioestabilizador 2, 6 garrafas amarelas no bioestabilizador 3 e 6 garrafas alaranjadas no bioestabilizador 4 para, evidentemente, identificar o começo da massa em estudo. Em seguida, com o processamento dos resíduos, foi iniciado o balanço de massa.

No decorrer do processamento os materiais recicláveis triados na esteira de catação e no eletroímã foram sendo pesados em uma balança com capacidade para 150Kg, enquanto os recicláveis de maior quantidade, tais como plástico duro, latas de ferro, cacos de vidro e papelão, foram pesados ao final do processo na balança da recepção.

Tabela 4- Procedência da massa de resíduos em estudo e a quantidade distribuída nas linhas de processamento no primeiro balanço de massa

REGIONAIS DE PROCEDÊNCIA	QUANTIDADE DE RESÍDUOS (EM Kg) E DISTRIBUIÇÃO POR LINHA DE PROCESSAMENTO				TOTAL (Kg)	(%)
	LINHA 1	LINHA 2	LINHA 3	LINHA 4		
ITAQUERA	7.970 (21) 7.610 (27) 7.550 (28)	8.190 (31) 8.140 (26) ------	7.380 (20) ----- -----	*11.140(31) 7.860 (24) 7.390 (23)	73.230	74,0
SÃO MATHEUS	-------	------	9.020 (43)	------	9.020	9,1
SÃO MIGUEL PAULISTA	-------	8.550 (80)	8.100 (75)	------	16.650	16,9
TOTAL (Kg)	23.130	24.880	24.500	26.390	98.900	100

OBS.: ( ) = número do setor da regional
* = caminhão trucado com maior capacidade

Tabela 5- Procedência da massa de resíduos em estudo e a quantidade distribuída nas linhas de processamento no segundo balanço de massa

REGIONAIS DE PROCEDÊNCIA	QUANTIDADE DE RESÍDUOS (EM Kg) E DISTRIBUIÇÃO POR LINHA DE PROCESSAMENTO				TOTAL Kg	(%)
	LINHA 1	LINHA 2	LINHA 3	LINHA 4		
ITAQUERA	7.980 (27) 7.660 (28) -----	8.760 (25) ----- -----	8.730 (26) 8.100 (20) 8.220 (31)	7.640 (23) 7.050 (24) -----	64.140	65,5
SÃO MATHEUS	-----	8.260 (41)	-----	9.440 (43)	17.700	18,1
SÃO MIGUEL PAULISTA	8.090 (77)	7.950 (80)	-----	-----	16.040	16,4
TOTAL(Kg)	23.730	24.970	25.050	24.130	97.880	100

OBS.: ( ) = número do setor da regional

Tabela 6- Procedência da massa de resíduos em estudo e a quantidade distribuída nas linhas de processamento no terceiro balanço de massa

REGIONAIS DE PROCEDÊNCIA	QUANTIDADE DE RESÍDUOS (EM Kg) E DISTRIBUIÇÃO POR LINHA DE PROCESSAMENTO				TOTAL (Kg)	(%)
	LINHA 1	LINHA 2	LINHA 3	LINHA 4		
ITAQUERA	8.480 (22) ----- -----	6.770 (21) ----- -----	7.510 (20) 8.980 (25) ----	8.190 (23) 7.480 (24) 8.940 (19)	56.350	58,5
SÃO MATHEUS	9.050 (17)	-----	-----	-----	9.050	9,4
SÃO MIGUEL PAULISTA	7.730 (50)	8.150 (48) 7.780 (53)	7.240 (34)	-----	30.900	32,1
TOTAL(Kg)	25.260	22.700	23.730	24.610	96.300	100

OBS.: ( ) = número do setor da regional

Tabela 7- Procedência da massa de resíduos em estudo e a quantidade distribuída nas linhas de processamento no quarto balanço de massa

REGIONAIS DE PROCEDÊNCIA	QUANTIDADE DE RESÍDUOS (EM Kg) E DISTRIBUIÇÃO POR LINHA DE PROCESSAMENTO				TOTAL (Kg)	(%)
	LINHA 1	LINHA 2	LINHA 3	LINHA 4		
ITAQUERA	7.700 (21) 7.660 (19) -----	7.680 (20) ----- -----	8.100 (23) *11.850 (17) -----	8.630 (22) 8.410 (25) 7.830 (24)	67.860 -----	67,5
SÃO MATHEUS	8.150 (17)	7.370 (16)		-----	15.520	15,4
SÃO MIGUEL PAULISTA		8.450 (26)	8.760 (28)	-----	17.210	17.1
TOTAL (Kg)	23.510	23.500	28.710	24.870	100.590	100

OBS.: ( ) = número do setor da regional
* = caminhão trucado com maior capacidade

Ao término do processamento da massa em estudo, na primeira etapa do processo, foram colocados mais oito traçadores em cada biodigestor, nas mesmas cores anteriores, para identificar e separar a massa em estudo do restante dos resíduos que seriam processados.

O balanço de massa, na segunda etapa do processo, era iniciado com a identificação dos traçadores na esteira de rejeito, após os biodigestores, indicando que a massa havia passado pelos bioestabilizadores. Nesse momento a usina era paralisada para executar a limpeza do pátio, onde seriam descarregados o composto cru, os rejeitos e as latas de segunda, da massa sob estudo. Em seguida, era reiniciado o processo controlando-se as saídas dos materiais. O balanço de massa nesta etapa era finalizado com a saída dos traçadores colocados ao término da primeira etapa do balanço de massa, mostrando assim que a massa de resíduos em estudo havia terminado. Nesse momento era paralisada a usina para a pesagem dos materiais descarregados.

Os plásticos duros e as latas de alumínio eram pesados em uma balança com capacidade para 150Kg, enquanto o composto, os rejeitos e as latas de segunda foram pesados na balança da recepção. Nesta segunda etapa foi retirada uma amostra de aproximadamente 1.500Kg de rejeito destinado ao aterro sanitário, para realizar a caracterização.

FIGURA 32- Colocação dos traçadores na entrada dos bioestabilizadores

4.4 Caracterização dos rejeitos destinados ao aterro sanitário

Para realizar a caracterização dos rejeitos (Figura 33) destinados ao aterro sanitário, retirou-se uma quantidade correspondente a mais ou menos 1.500Kg de rejeito, com auxílio da pá carregadeira, que foram encaminhadas ao quarteamento e em seguida à caracterização segundo os grupos adiante relacionados. O agrupamento dos materiais para a caracterização dos rejeitos teve como balizamento a identificação dos materiais recicláveis triados durante o processo, obtendo-se os sete grupos a seguir relacionados:

Grupo a: plástico duro;

Grupo b: plástico filme;

Grupo c: alumínio;

Grupo d: latas de ferro de segunda;

Grupo e: trapos;

Grupo f:: couro, madeira e borracha;

Grupo g: rejeitos.

Este último grupo era formado pelos materias que sobraram após a retirada dos materiais citados acima, sendo constituído por pequenos materiais de difícil identificação, como por exemplo: tampinhas de garrafa, cacos de vidro, pequenos retalhos de plástico filme e de pano, pedras, terra e matéria orgânica.

A quantidade destinada ao quarteamento já foi considerada na massa total de rejeitos, portanto não necessitando ser descontada da massa total.

FIGURA 33- Caracterização dos rejeitos destinados ao aterro sanitário.

5 RESULTADOS

A utilização de traçadores, as caracterização físicas (dos resíduos e dos rejeitos) e a realização do balanço de massa, para avaliação da eficiência de remoção dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos domiciliares e também para avaliar a eficiência de transformação da matéria orgânica em composto, na usina sob estudo, teve como resultados o que apresenta-se a seguir.

5.1 Resultados da utilização dos traçadores

No primeiro teste o tempo de permanência de cada garrafa (traçador) no interior do bioestabilizador, já descontando os tempos das paradas, foi:

1ª garrafa (vazia): 6h e 15min;

2ª garrafa (com areia): 7h e 5min;

3ª garrafa.(vazia): 7h e 15min;

4ª garrafa .(vazia): 7h e 30min;

5ª garrafa (com areia): 7h e35min.

Neste teste 3 garrafas não foram visualizadas na esteira de rejeito, provavelmente porque passaram sob os rejeitos não podendo, portanto, serem identificadas.

No segundo teste o tempo de detenção de cada traçador, descontando as paradas, foi:

1ª garrafa (com areia): 6h e 40min;

2ª garrafa (vazia): 7h e 0min;

3ª garrafa (vazia): 7h e 15min.;

4ª garrafa (vazia): 7h e 17min;

5ª garrafa (com areia): 7h e 30min;

6ª garrafa (vazia): 7h e 40min;

7ª garrafa (vazia): 8h e 30min.

Como neste teste apenas uma garrafa foi perdida isto tornou possível uma maior confiabilidade nos dados.

No terceiro teste os tempos obtidos foram:

1ª garrafa 7h e 15min;

2ª garrafa 7h e 30min;

3ª garrafa 7h e 34min;

4ª garrafa 7h e 38min;

5ª garrafa 7h e 43min;

6ª garrafa 7h e 46min;

7ª garrafa 7h e 54min;

8ª garrafa 8h e 0min;

9ª garrafa 8h e 6min;

10ª garrafa 8h e 22min;

11ª garrafa 8h e26min;

12ª garrafa 9h e 30min;

13ª garrafa 9h e 35min.

No quarto teste foram obtidos os seguinte tempos:

1ª garrafa 6h e 01min;

2ª garrafa 7h e 0min;

3ª garrafa 7h e 15min;

4ª garrafa 7h e 16min;

5ª garrafa 7h e 17min;

6ª garrafa 7h e 20min;

7ª garrafa 8h e 15min.

Para visualizar melhor o tempo de detenção os dados foram colocados em histogramas de freqüência, utilizando-se as equações (3) e (4) adiante, para calcular o número e a amplitude dos intervalos respectivamente.

$$K=1+3,3\log N \qquad (3)$$

$$(T_1-T_f)\,/\,K \qquad (4)$$

onde, K= número de intervalos;

N= número de eventos;

T_1-T_f= intervalo de tempo, em minutos, entre a saída da primeira garrafa e da última.

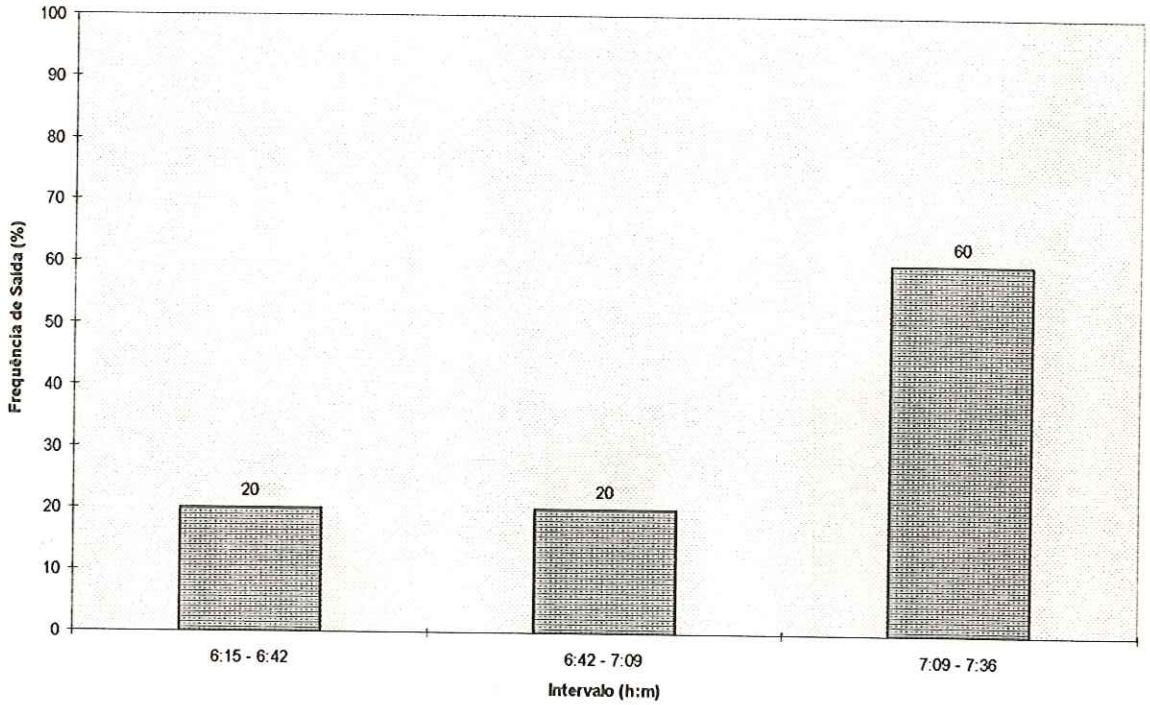


FIGURA 34- Freqüência de saída dos traçadores no primeiro teste

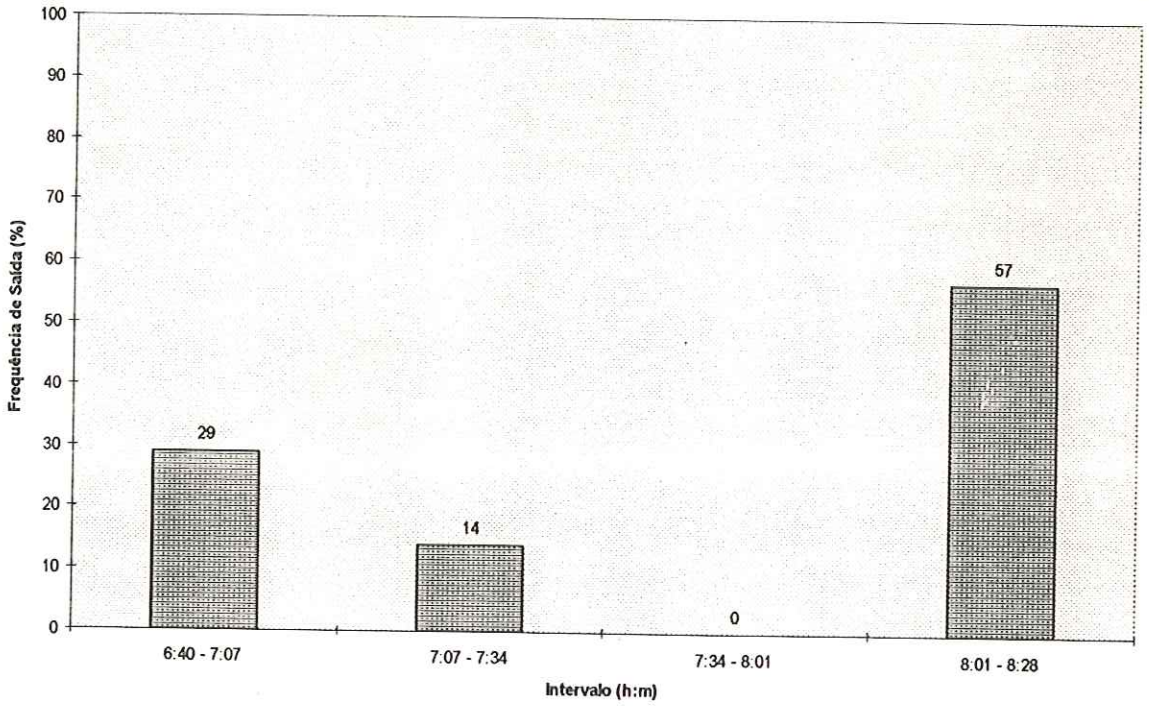


FIGURA 35 - Freqüência de saída dos traçadores no segundo teste

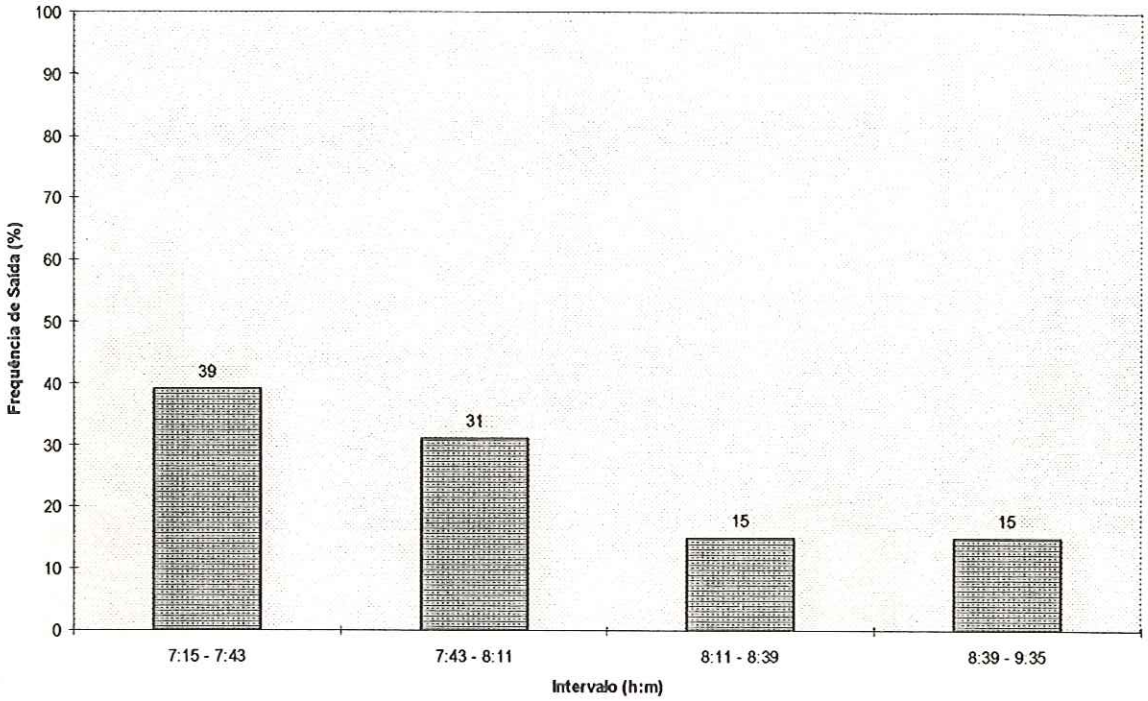


FIGURA 36 - Freqüência de saída dos traçadores no terceiro teste

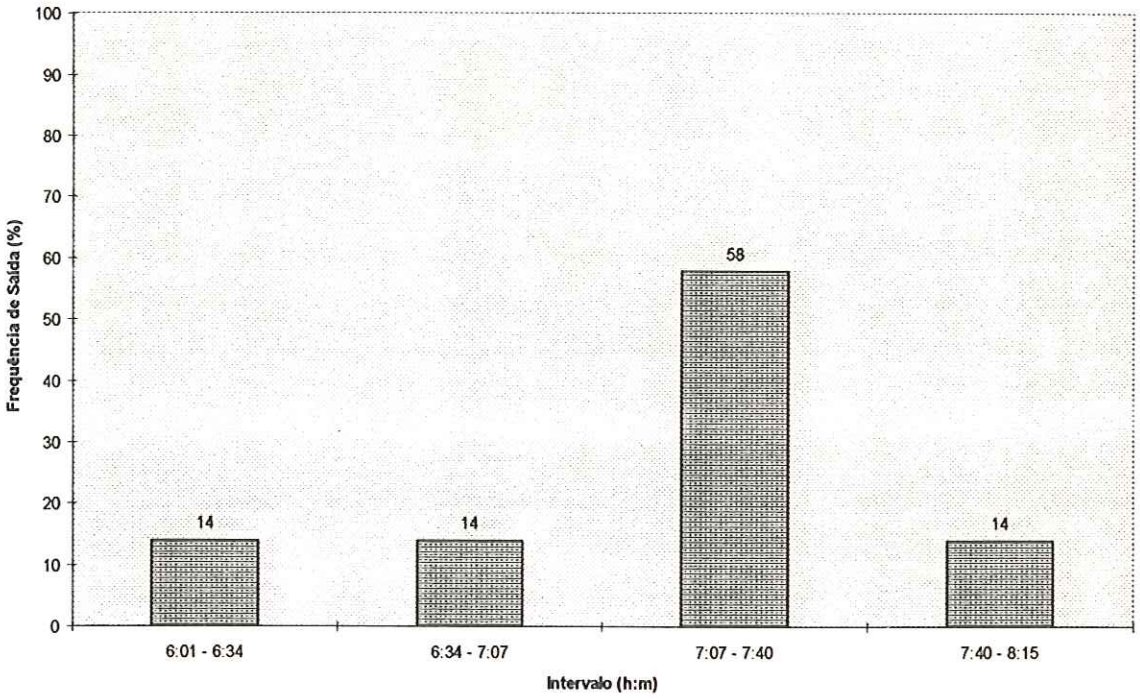


FIGURA 37-Freqüencia de saída dos traçadores no quarto teste

Após os testes foi possível determinar o intervalo de tempo com a maior freqüência de saída dos traçadores, que representa o tempo de detenção, como sendo de 7 horas e 9 minutos até 7 horas e 43 minutos.

É importante salientar que, durante os testes, foi observado que o tempo de detenção dos resíduos dentro do biodigestor estava diretamente relacionado com a altura dos resíduos no seu interior. Esta altura, por sua vez, depende da abertura da porta de saída dos biodigestores, portanto os tempos obtidos são relativos a estas condições de trabalho utilizadas na usina em questão.

5.2 Resultados das caracterizações físicas dos resíduos sólidos domiciliares encaminhados ao balanço de massa

Na primeira caracterização obteve-se uma amostra de 3.406Kg, que foi reduzida a 1.006Kg através do quarteamento e encaminhada à caracterização. Os resultados obtidos são mostrados a seguir na Tabela 8 a seguir.

Tabela 8-Caracterização, em peso, do lixo bruto-1º caracterização, base úmida

MATERIAIS	LIXO BRUTO	
	peso (Kg)	(%)
plástico duro (grupo 1)	19,9	1,98
vidro (grupo 2)	17,8	1,77
alumínio (grupo 3)	2,5	0,25
latas de ferro (grupo 4)	27,0	2,68
sucata ferrosa (grupo 5)	*	*
matéria orgânica e papel (grupo 6)	750,0	74,52
papelão (grupo7)	58,1	5,77
plástico filme (grupo 8)	79,7	7,92
couro,madeira,borracha (grupo9)	27,7	2,75
trapo (grupo10)	23,8	2,36
TOTAL	1006,5	100

obs: * Como os materiais grosseiros foram retirados no início do quarteamento, não foi possível determinar a quantidade de sucata presente nos resíduos.

Na segunda caracterização foram obtidos 3.097Kg de resíduos na amostragem, sendo reduzidos a 317Kg no quarteamento e, em seguida, encaminhados à caracterização. A Tabela 9 mostra os resultados obtidos.

Tabela 9-Caracterização, em peso, do lixo bruto-2º caracterização, Base úmida

MATERIAIS	LIXO BRUTO	
	peso (Kg)	(%)
plástico duro (grupo 1)	7,3	2,30
vidro (grupo 2)	4,0	1,26
alumínio (grupo 3)	1,0	0,32
latas de ferro (grupo 4)	7,5	2,36
sucata ferrosa (grupo 5)	*	*
matéria orgânica e papel (grupo 6)	225,1	70,99
papelão (grupo7)	24,8	7,82
plástico filme (grupo8)	28,6	9,02
couro,madeira,borracha (grupo9)	6,5	2,05
trapo (grupo10)	12,3	3,88
TOTAL	317,1	100,0

obs: *Como os materiais grosseiros foram retirados no início do quarteamento, não foi possível determinar a quantidade de sucata presente nos resíduos.

Na terceira caracterização foram destinados ao quarteamento 1.889Kg, os quais foram reduzidos a 578,8Kg e encaminhados a caracterização. A Tabela 10 mostra os valores obtidos.

Finalmente na quarta caracterização foi utilizada uma amostra de 1.680kg que foi reduzida para 279,6kg e encaminhada para a caracterização. A Tabela 11 mostra os resultados obtidos.

TABELA 10-Caracterização, em peso, do lixo bruto-3º caracterização base úmida

MATERIAIS	LIXO BRUTO	
	peso (Kg)	(%)
plástico duro (grupo 1)	11,4	2,0
vidro (grupo 2)	8,8	1,52
alumínio (grupo 3)	1,0	0,17
latas de ferro (grupo 4)	12,4	2,14
sucata ferrosa (grupo 5)	*	*
mat.orgânica e papel (grupo 6)	452,5	78,16
papelão (grupo7)	30,5	5,27
plástico filme (grupo8)	33	5,7
couro,madeira,borracha (grupo9)	12,9	2,22
trapo (grupo10)	16,3	2,82
TOTAL	578,8	100

obs: *Como os materiais grosseiros foram retirados no início do quarteamento, não foi possível determinar a quantidade de sucata presente nos resíduos.

Tabela 11-Caracterização, em peso, do lixo bruto- 4º caracterização base úmida

MATERIAIS	LIXO BRUTO	
	peso (Kg)	(%)
plástico duro(grupo 1)	10,4	3,72
vidro(grupo 2)	6,6	2,36
alumínio(grupo 3)	2,0	0,72
latas de ferro(grupo 4)	8,9	3,18
sucata ferrosa(grupo 5)	0,0*	0,0
matéria orgânica e papel(grupo 6)	175,2	62,66
papelão(grupo7)	18,9	6,76
plástico filme(grupo8)	33,8	12,09
couro,madeira,borracha(grupo9)	10,38	3,71
trapo(grupo10)	13,42	4,80
TOTAL	279,6	100

obs: *Como os materiais grosseiros foram retirados no início do quarteamento, não foi possível determinar a quantidade de sucata presente nos resíduos.

5.3 Resultados obtidos nos balanços de massa

Primeiro balanço de massa

No primeiro balanço de massa foram destinados ao trabalho 98.900Kg de resíduos sólidos domiciliares dos quais retirou-se 3.406Kg para o quarteamento, conforme descrito no item anterior, resultando 95.494Kg (MT)que foram processados no balanço de massa. Com base nos resultados da primeira caracterização (Tabela 8), foi possível determinar a composição, em peso, de MT multiplicando-se as porcentagens obtidas em cada grupo por MT, o que resultou nos seguintes valores:

•grupo 1: plástico duro= 1.891Kg;
•grupo 2: vidro= 1.690Kg;
•grupo 3: latas e pequenas peças de alumínio= 239Kg;
•grupo 4: latas de ferro= 2.559Kg;
•grupo 5: sucata ferrosa= indeterminado;
•grupo 6: matéria orgânica e papel= 71.162Kg;
•grupo 7: papelão= 5.510Kg;
•grupo 8: plástico filme= 7.563Kg;
•grupo9: borracha, couro, madeira= 2.626Kg;
•grupo10: trapos= 2.254Kg;
TOTAL(MT)= 95.494Kg.

Comparando-se estas quantidades de recicláveis disponíveis nos resíduos sólidos domiciliares com as quantidades obtidas (triadas) na esteira de catação e no eletroímã, durante a primeira etapa do processo, foi possível verificar a eficiência destes equipamentos na remoção dos materiais recicláveis nesta primeira etapa. Além dos materiais recicláveis foram retirados ainda 5.160Kg de rejeito (MRJ1), que são os materiais que podem causar o embuchamento dos bioesbilizadores. A Figura 38 ilustra os resultados obtidos no primeiro balanço de massa, durante a primeira etapa do processo e a Tabela 12 compara as quantidades recuperadas dos materiais recicláveis com a quantidade disponível obtida na caracterização, determinando a eficiência.

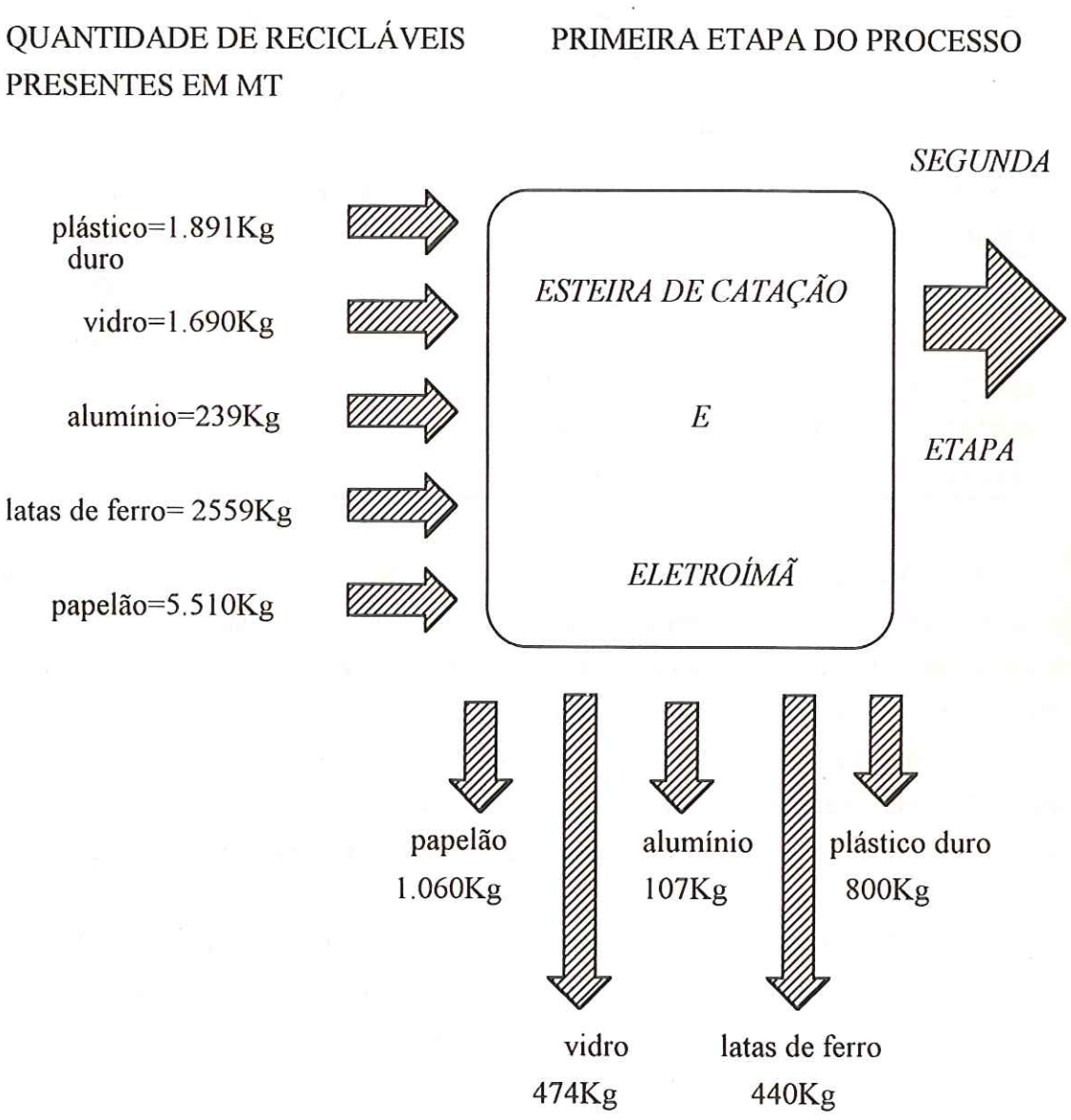


FIGURA 38-Fluxograma do balanço de massa na primeira etapa do processo-primeiro balanço de massa

TABELA 12-Eficiência da esteira de catação e do eletroímã na remoção dos materiais recicláveis, na primeira etapa do processo

MATERIAIS	QUANTIDADE DISPONÍVEL NOS RESÍDUOS(Kg)	QUANTIDADE REMOVIDA (Kg)	EFICIÊNCIA (%)
PAPELÃO	5.510	1.060,0	19,2
VIDRO	1.690	474	28,0
PLÁSTICO DURO	1.891	800,0	42,3
ALUMÍNIO	239	107,0	44,7
LATAS DE PRIMEIRA	2.559	440,0	17,2
SUCATA FERROSA	não determinada	291	----
TOTAL	11.889	3.172	----

Considerando que o papelão e o vidro não são triados na segunda etapa do processo, a porcentagem recuperada destes materiais resume-se a quantidade selecionada na esteira de catação, na primeira etapa, ou seja **19,2%** para o papelão e **28%** para o vidro, sendo o restante incorporado ao composto e ao rejeito.

O tempo de processamento das 95.494Kg de resíduos na primeira etapa foi de uma hora e cinqüenta minutos. Decorridas seis horas e trinta e sete minutos do término da primeira etapa foi identificado o primeiro traçador na esteira de rejeito (após os bioestabilizadores), correspondente ao bioestabilizador da linha 2. A partir da saída do primeiro traçador esperou-se mais ou menos de 10 a 15 minutos para se iniciar o balanço de massa na segunda etapa, sendo esta massa descartada (denominada massa de transição). Em seguida, paralisou-se a usina para limpar os pontos de descarga e, na seqüência, iniciou-se a pesagem dos materiais descarregados pelo processo.

O balanço de massa na segunda etapa do processo foi finalizado 10 minutos após a saída dos traçadores colocados no final da primeira etapa, sendo esta massa também descartada. Portanto, a massa M1 destinada à segunda etapa foi obtida através da equação (5) a seguir, deduzida na metodologia:

$$M1=MT-(MR1+MRJ1+\text{Massa de transição}) \quad (5)$$

$$M1= 95.494-(3.172 + 5.160 + 4.298)$$

$$M1= 82.864Kg$$

A Figura 39 ilustra o resultado obtido com o uso da equação (5).

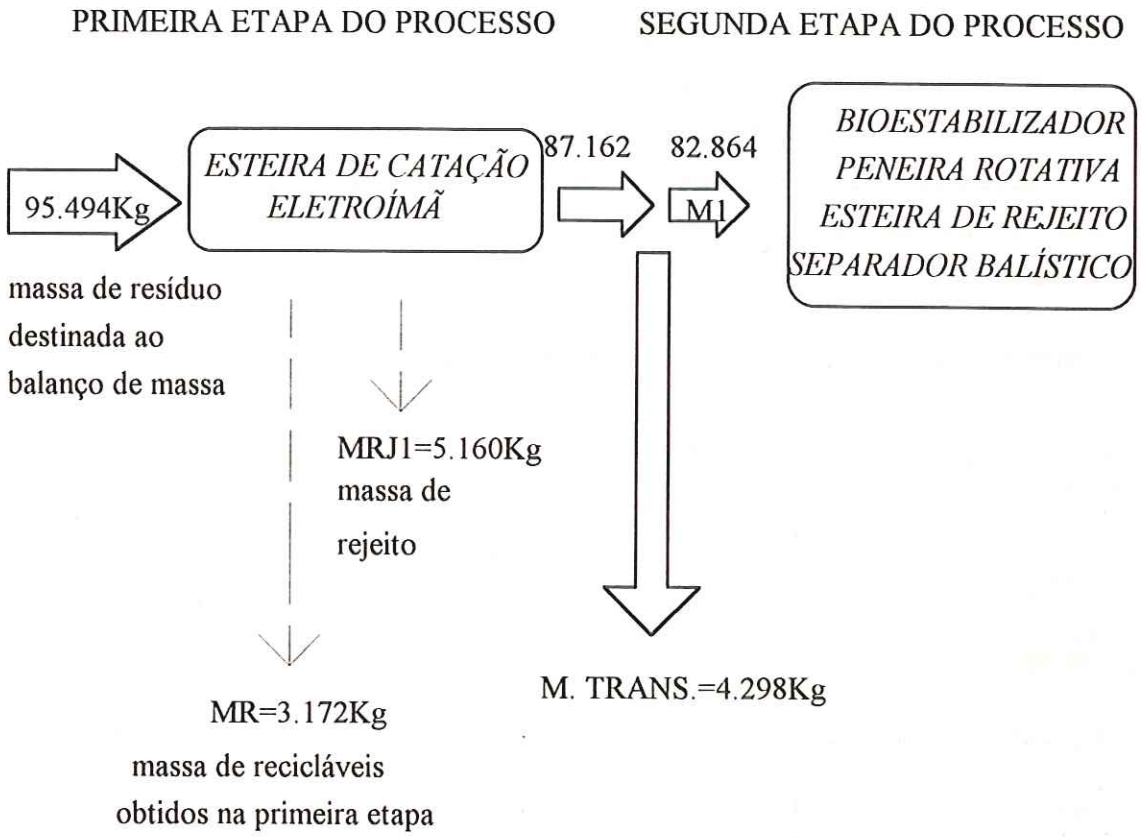


FIGURA 39-Fluxograma dos materiais obtidos na primeira etapa do processo e a quantidade destinada a segunda etapa, no primeiro balanço de massa

A composição física da massa M1 foi obtida subtraindo da quantidade inicial (95.494,0kg) as quantidades (3.172,0kg e 5.160,5kg) triadas na primeira etapa, tomando como base a quantidade antes do descarte da massa de transição igual a 87.162Kg. Em seguida, adotou-se esta mesma composição para os 82.864Kg de resíduos destinados à segunda etapa, já que o descarte da massa de transição não altera a composição dos resíduos, mas apenas a quantidade, mantendo as proporções dos materiais constantes. Portanto, a composição física da massa M1 foi:

papelão:5,09% (4.218Kg)
vidro:1,39% (1.152Kg)
plástico duro:1,25% (1.036Kg)
latas de ferro:2,42% (2.005Kg)

alumínio:0,15% (124Kg)
rejeitos:8.33% (6.903Kg)
matéria orgânica e papel:81,37% (67.426Kg)
TOTAL:82.864Kg

Após o processamento dos 82.863,5Kg de resíduos na segunda etapa, comparou-se com a composição de M1. A Figura 40 ilustra o balanço de massa nesta segunda etapa do processo.

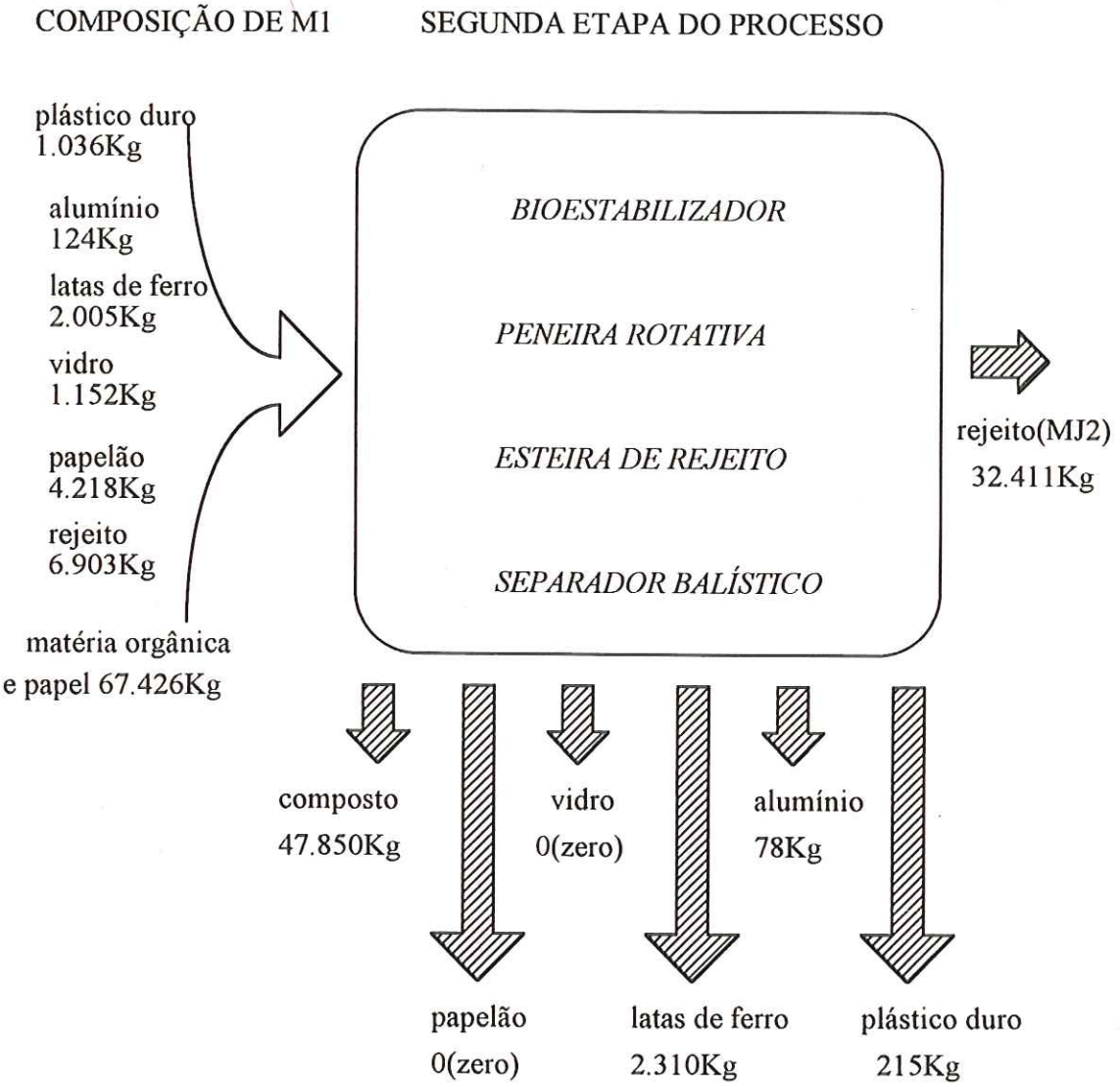


FIGURA 40- Balanço de massa na segunda etapa do processo

A partir da Figura 40, observa-se que a quantidade de rejeito destinada ao aterro sanitário na segunda etapa do processo é maior que a quantidade correspondente aos grupos 8, 9 e 10 da caracterização, que são os materiais não triados no processo. Isto se deve ao fato da presença de composto e materiais recicláveis na massa de rejeito.

Comparando novamente as porcentagens obtidas na segunda etapa do processo com a composição inicial da massa M1 foi possível verificar a porcentagem de remoção dos recicláveis e as quantidades de matéria orgânica e papel que efetivamente foram transformadas em composto. Os resultados são mostrados na Tabela 13.

TABELA 13- Eficiência de remoção dos materiais recicláveis e obtenção de composto na segunda etapa do processo, durante o primeiro balanço de massa

MATERIAIS	QUANTIDADE (EM Kg) DISPONÍVEL EM M1	QUANTIDADE (em Kg) RECUPERADA NA 2ª ETAPA	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)
plástico duro	1.036	215	20,8
alumínio	124	78 (1)	62,8
latas de ferro	2.005	2.310 (1)	-----
rejeitos(MRJ2) (4)	6.903	32.411 (2)	-----
matéria orgânica + papel (MC)	67.426	47.850	71,0
vidro	1.152	0 (3)	0
papelão	4.218	0 (3)	0
TOTAL	82.864	82.864	-----

(1) As latas de ferro e alumínio estavam cheias de matéria orgânica, aumentando o seu peso.

(2) Devido a baixa eficiência de remoção dos materiais recicláveis estes são incorporados ao rejeito aumentando sua massa.

(3) O vidro e o papelão apresentavam-se triturados e misturados à matéria orgânica, impossibilitando sua retirada. Conseqüentemente as parcela de matéria orgânica e de rejeito foram beneficiadas com as parcelas de vidro e papelão presentes nesta segunda etapa.

(4) Como já citado na metodologia, os rejeitos são compostos pelos grupos 8, 9 e 10, ou seja, plástico filme, trapos, couro, borracha e madeira

Para se verificar a eficiência dos equipamentos na remoção dos materiais recicláveis (plástico duro, alumínio e latas de ferro) triados na primeira e na segunda etapas, analisou-se todo o processo. As Figuras 41, 42 e 43, a seguir, mostram o balanço de massa para cada um daqueles materiais recicláveis.

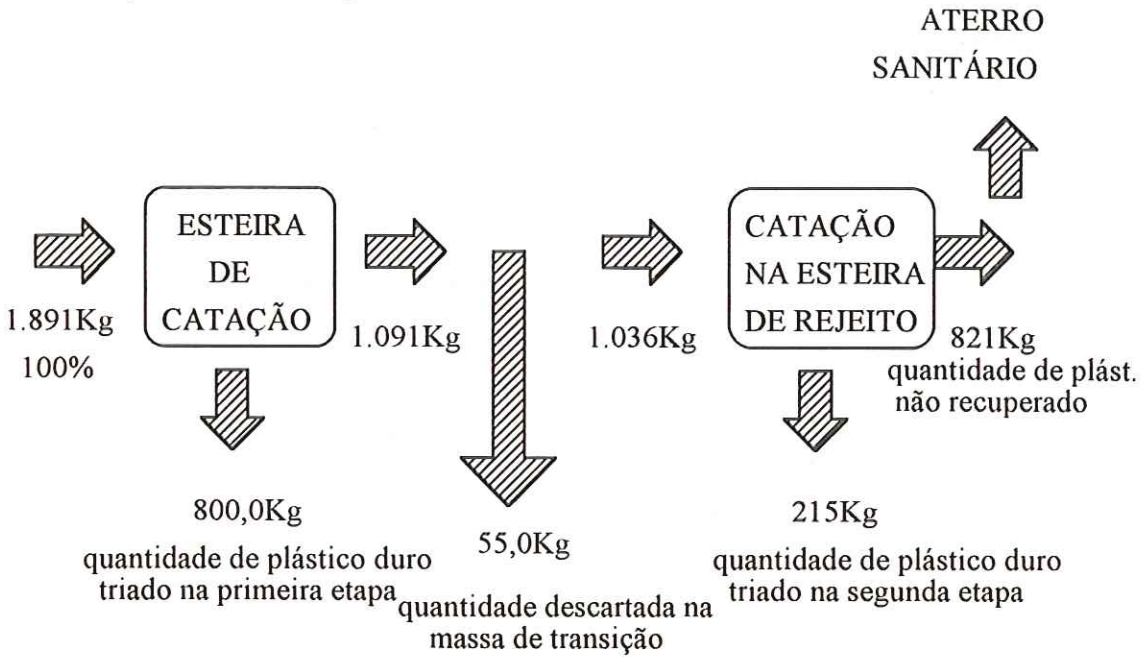


FIGURA 41-Balanço de massa dos plásticos duros que entraram em processo

Considerando que 1.891kg de plásticos entraram em processo (Figura 41), e que 55kg foram descartados na massa de transição, restando então 1.836kg, apenas 1.015kg foram triados em todo o processo, ou seja, dos plásticos duros que entraram em processo **55,3%** foram recuperados.

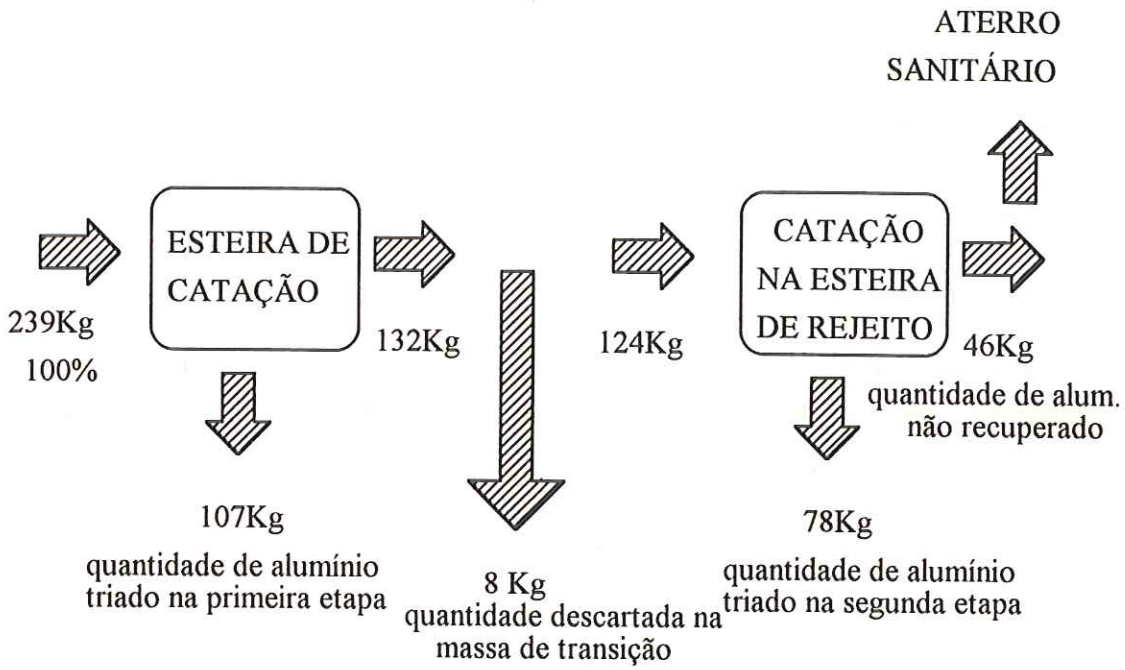


FIGURA 42- Balanço de massa do alumínio que entrou em processo

Verificando agora a eficiência de triagem do alumínio durante todo o processo (Figura 42), tem-se que dos 231 kg disponiveis nos resíduos (239Kg - 8Kg da massa de transição), foram triados 185kg ou **80%** do total. Deve-se considerar, como já citado anteriormente, que as latas de alumínio triadas após o bioestabilizador (segunda etapa) estavam cheias de composto, aumentando seu peso e conseqüentemente a eficiência.

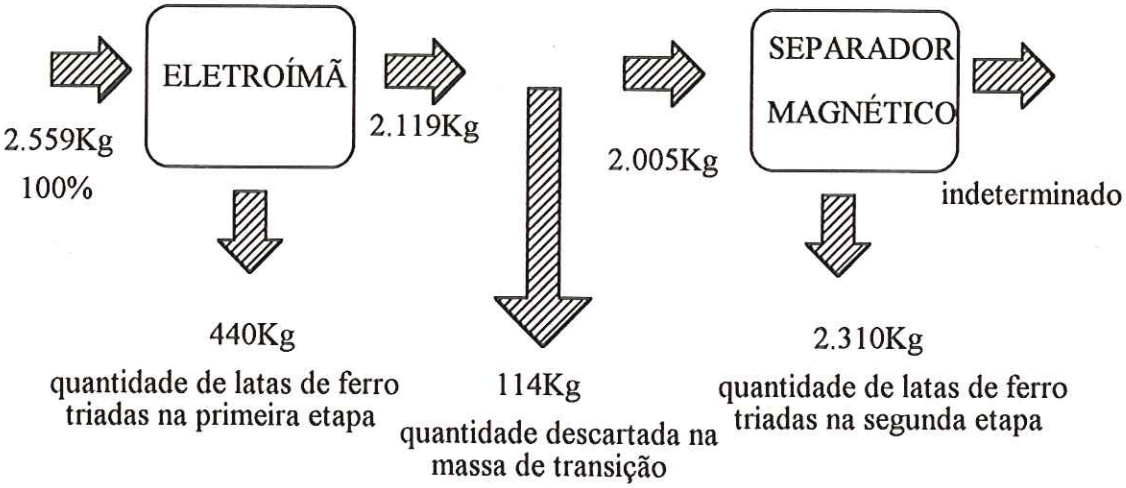


FIGURA 43- Balanço de massa das latas de ferro que entraram em processo.

Como mostrado na Figura 43, não foi possível verificar a eficiência do separador magnético na remoção das latas de segunda, presentes nos rejeitos. Isto porque as referidas latas apresentavam-se cheias com composto, acarrretando aumento de seus pesos originais.

Para finalizar este primeiro balanço de massa, verificou-se qual a quantidade de composto cru obtida a partir dos resíduos. Assim sendo, observou-se que dos 67.426kg de matéria orgânica e papel encaminhados à segunda etapa foram obtidos 47.850kg de composto cru, representando **71%** daquele total de material compostável. Esta porcentagem corresponde ao composto cru não peneirado, ao qual estavam incorporados, como já citado, uma parcela de papelão triturado e cacos de vidro. A Figura 44 mostra o balanço de massa do composto.

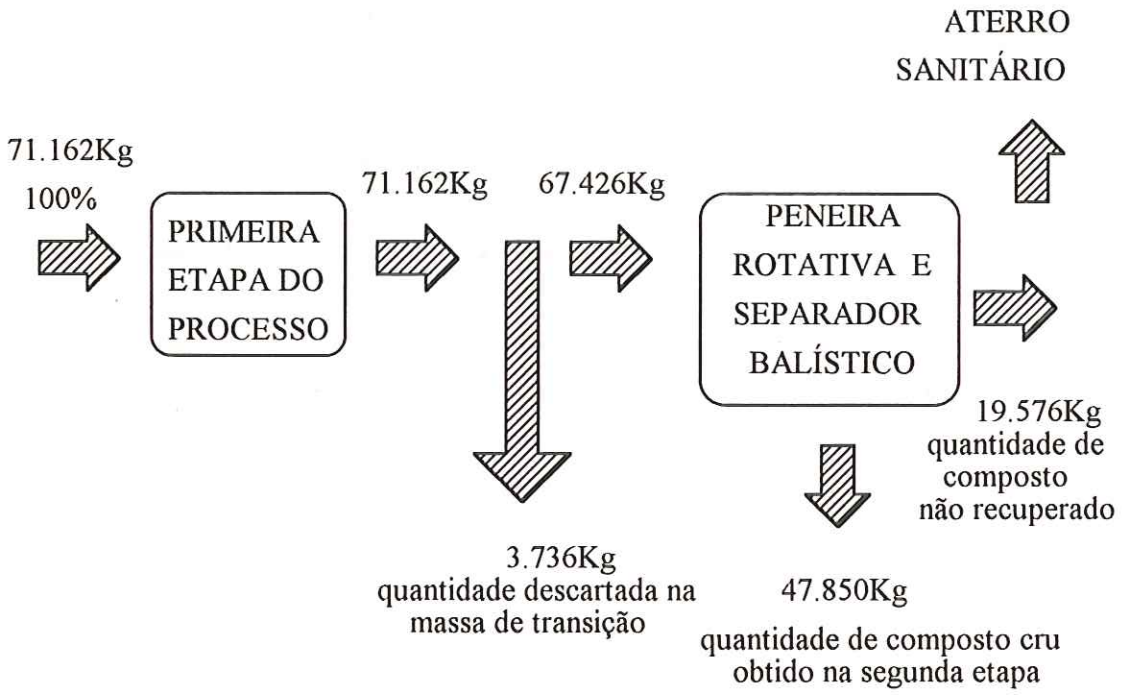


FIGURA 44-Transformação da matéria orgânica e do papel em composto cru.

Segundo balanço de massa

O segundo balanço de massa foi realizado nos mesmos moldes do anterior. A quantidade de resíduos sólidos domiciliares destinados ao trabalho foi de 97.880kg, dos quais 3.097kg foram encaminhados ao quarteamento, resultando em 94.783kg(MT) para

o segundo balanço de massa. A composição de MT baseada na segunda caracterização foi:

•grupo 1: plástico duro=2.180Kg
•grupo 2: vidro= 1.194Kg
•grupo 3: latas e pequenas peças de alumínio= 303Kg
•grupo 4: latas de ferro= 2.237Kg
•grupo 5: sucata ferrosa= indeterminado
•grupo 6: matéria orgânica e papel= 67.286Kg
•grupo 7: papelão= 7.412Kg
•grupo8: plástico filme= 8.550Kg
•grupo9: borracha, couro, madeira= 1.943Kg
•grupo10: trapos= 3.678Kg
TOTAL(MT)= 94.783Kg

Do mesma modo como realizado no primeiro balanço de massa, foram comparadas as quantidades de recicláveis disponíveis com as obtidas na primeira etapa. A Figura 45 e a Tabela 14, mostram os resultados.

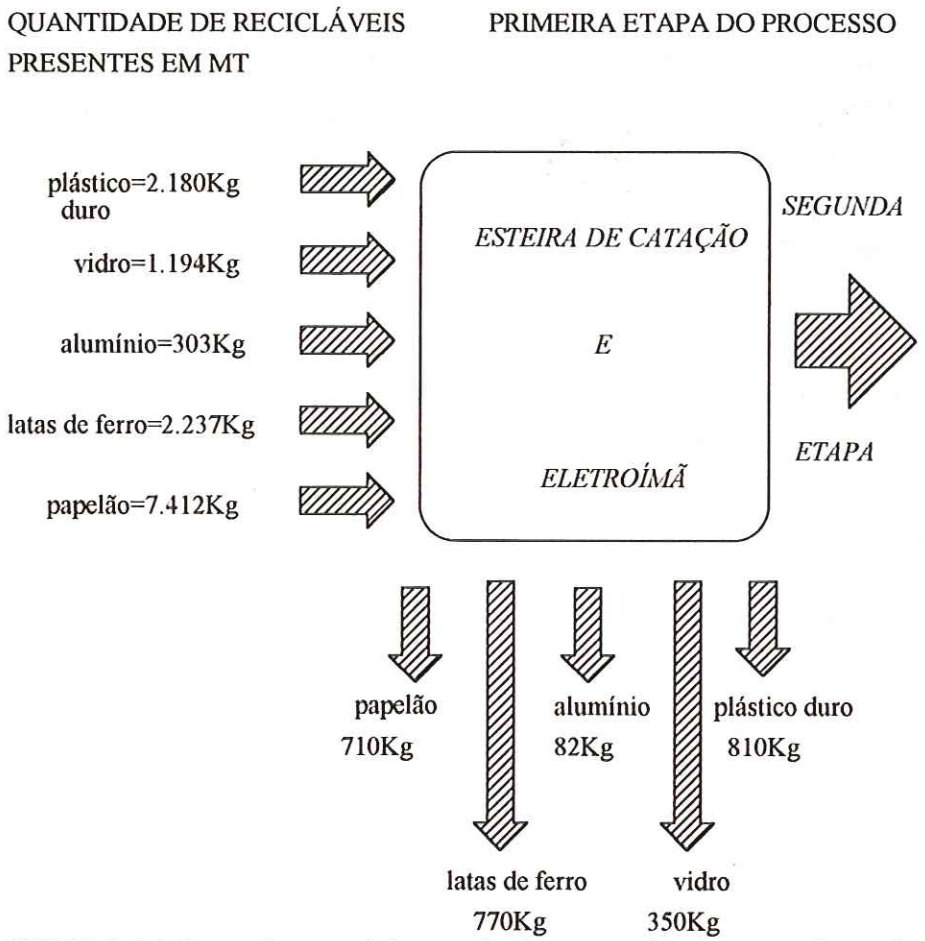


FIGURA 45-Fluxo de materiais na primeira etapa do processo-Segundo balanço

TABELA 14- Eficiência da esteira de catação e do eletroímã na remoção dos materiais recicláveis, na primeira etapa do processo

MATERIAIS	QUANTIDADE DISPONÍVEL NOS RESÍDUOS(Kg)	QUANTIDADE REMOVIDA(Kg)	EFICIÊNCIA DO PROCESSO(%)
PAPELÃO	7.412	710	9,6
VIDRO	1.194	350	29,3
PLÁSTICO DURO	2.180	810	37,2
ALUMÍNIO	303	82	27,0
LATAS DE PRIMEIRA	2.237	770	34,0
SUCATA FERROSA	não determinada	283	-----
TOTAL	13.326	3005	-----

Considerando que o papelão e o vidro são triados apenas na primeira etapa, a porcentagem recuperada destes materiais resume-se a quantidade selecionada na esteira de catação, ou seja, **9,6%** para o papelão e **29,3%** para o vidro, sendo o restante incorporados ao composto cru e ao rejeito.

O tempo gasto para processar a massa MT na primeira etapa foi de uma hora e cinqüenta e cinco minutos. Após 6 horas e 20 minutos do término da primeira etapa foi visualizado o primeiro traçador na esteira de rejeito. Assim como no primeiro teste, foi descartada uma quantidade considerada como sendo de transição. Portanto, a massa destinada à segunda etapa(M1) do processo foi:

M1= MT - (MR1+MRJ1+M de transição)

M1= 94.783 - (3.005 + 4.150 + 16.139)

M1= 71.489Kg

A Figura 46 ilustra o resultado da equação acima.

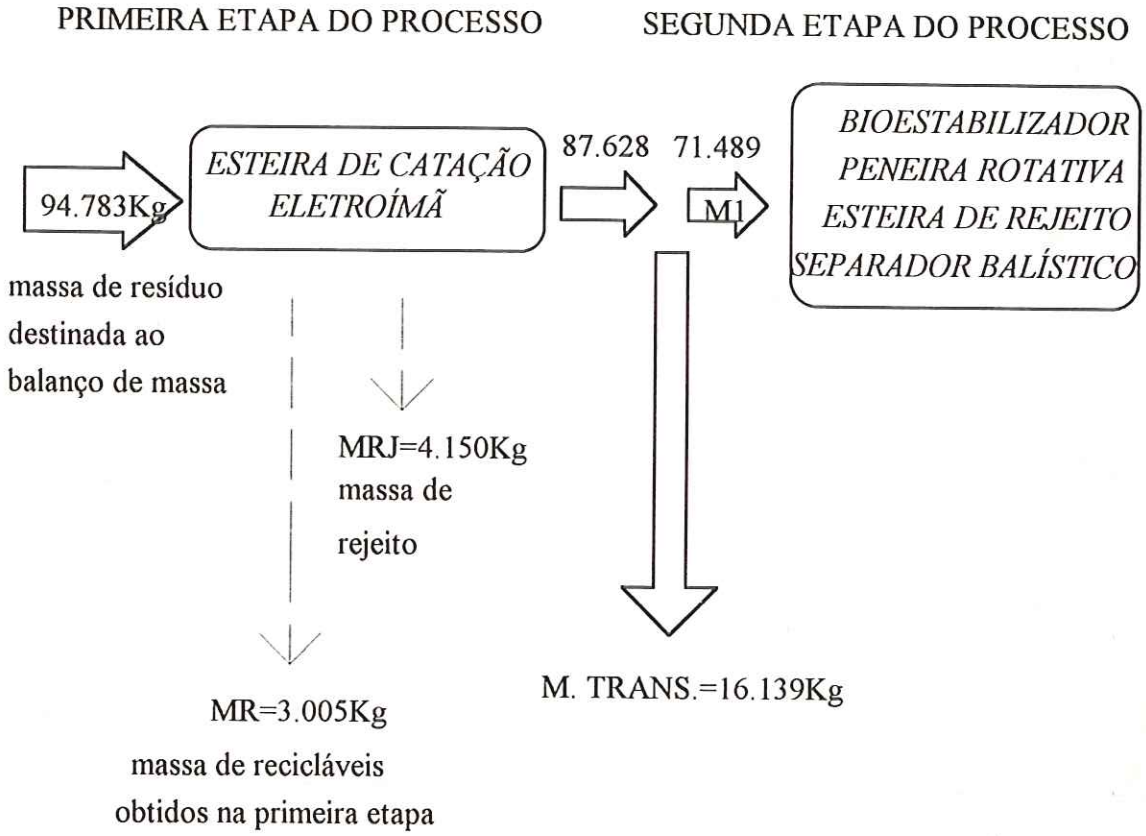


FIGURA 46-Fluxograma dos materiais obtidos na primeira etapa do processo e a quantidade destinada à segunda etapa, no segundo balanço de massa

Utilizando o mesmo procedimento do primeiro teste, calculou-se a composição da massa M1 e comparou-se com as quantidades obtidas na segunda etapa do processo, para verificar a eficiência desta etapa. A composição de M1 é mostrada a seguir e a Figura 47 ilustra o balanço de massa na segunda etapa do processo.

papelão:5.469Kg (7,65%)
vidro:686Kg (0,96%)
plástico duro:1.115Kg (1,56%)
latas de ferro:1.194Kg (1,67%)
alumínio:179Kg (0,25%)
rejeitos:8.178Kg (11,44%)
matéria orgânica e papel:54.668Kg (76,47%)
TOTAL:71.489Kg (100%)

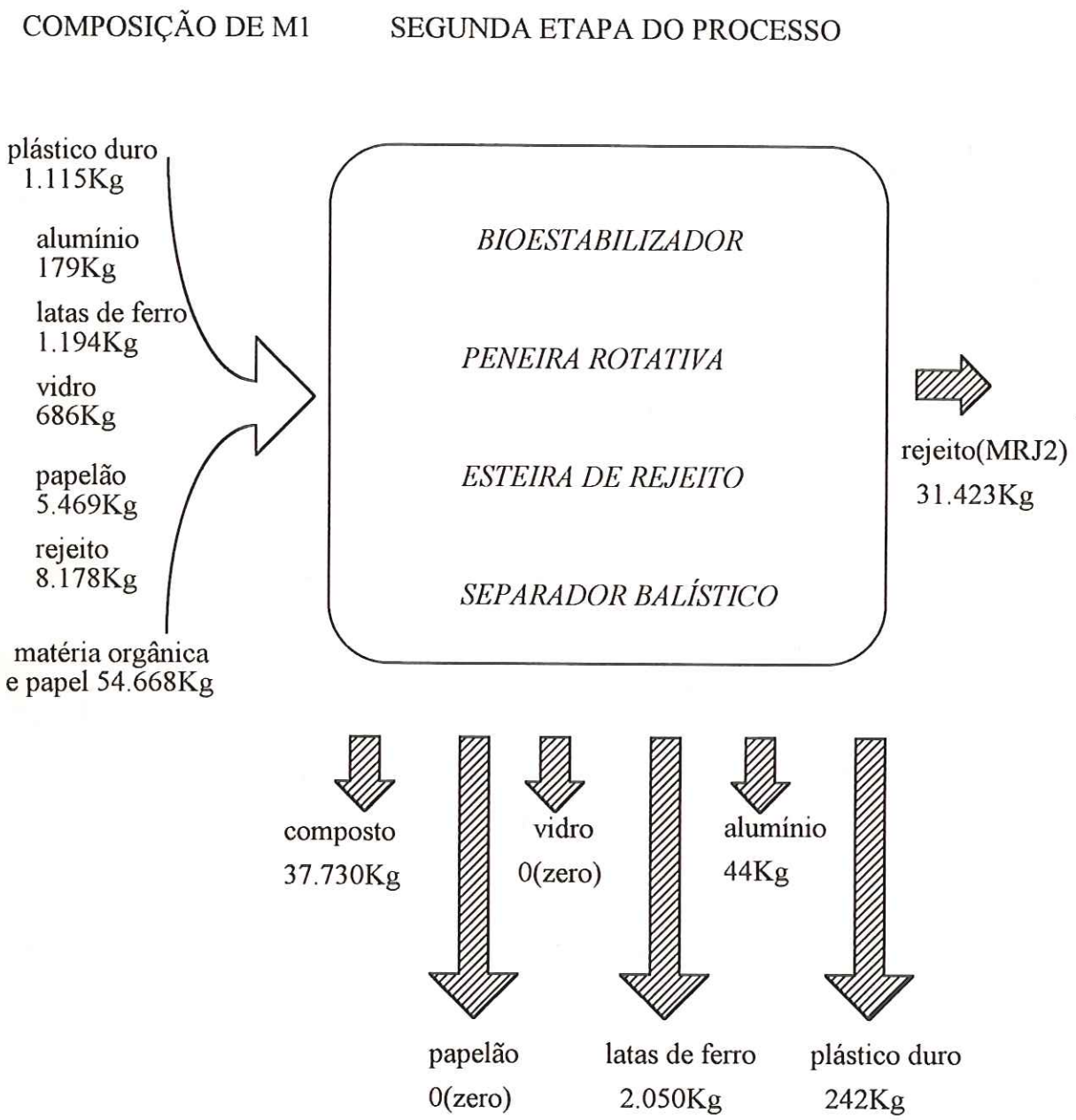


FIGURA 47- Balanço de massa na segunda etapa do processo

A Tabela 15 adiante mostra as quantidades a eficiências obtidas no balanço de massa na segunda etapa do processo.

Tabela 15- Eficiênciade remoção dos materiais recicláveis e obtenção do composto na segunda etapa do processo

MATERIAIS	QUANTIDADE (EM Kg) DISPONÍVEL EM M1	QUANTIDADE (EM Kg) RECUPERADA NA 2ª-ETAPA	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO (%)
plástico duro	1.115	242	21,7
alumínio	179	44 (1)	24,6
latas de ferro	1.194	2.050 (1)	-----
rejeitos(MRJ2)	8.178	31.423 (2)	------
composto(MC)	54.668	37.730	69,0
vidro	686	0 (3	0
papelão	5.469	0 (3)	0
TOTAL	71.489	71489	

(1) As latas de ferro e alumínio estavam cheias de matéria orgânica, aumentando o seu peso.

(2) Devido a baixa eficiência de remoção dos materiais recicláveis estes são incorporados ao rejeito aumentando sua massa.

(3) O vidro e o papelão apresentavam-se triturados e misturados à matéria orgânica, impossibilitando sua retirada. Conseqüentemente, a parcela de matéria orgânica e de rejeito foram beneficiadas com as parcelas de vidro e papelão presentes nesta segunda etapa.

Assim como no primeiro teste, a quantidade de rejeito destinada ao aterro é maior do que a quantidade de rejeito que entra na segunda fase, pois uma parte corresponde a materiais recicláveis e composto incorporados aos rejeitos.

Para verificar a eficiência dos equipamentos na remoção dos materiais recicláveis (plástico duro, alumínio e latas de ferro), na primeira e na segunda etapa, como realizado no primeiro balanço de massa, analisou-se todo o processo. As Figuras 48, 49 e 50 mostram o balanço de massa para cada um destes materiais.

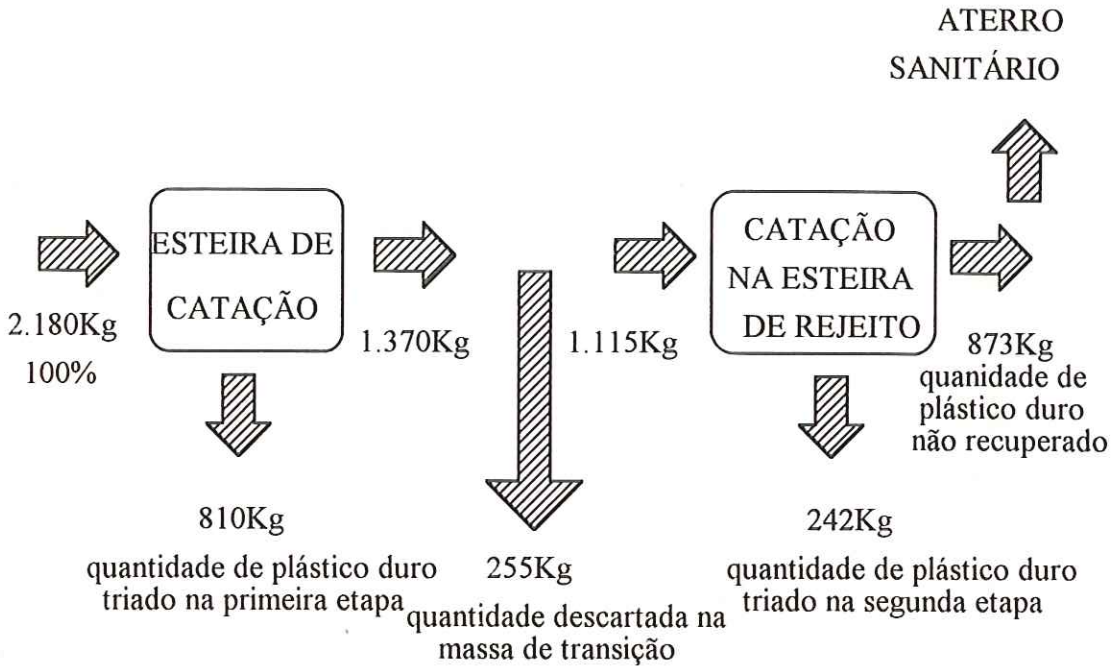


FIGURA 48-Balanço de massa dos plásticos duros que entraram em processo

Descontando-se a quantidade de plástico duro descartada na massa de transição (255kg) da massa inicial (2.180kg) obtém-se 1.925Kg de plástico duro, dos quais foram recuperados 1.052Kg, ou seja, **54,6%** dos plásticos duros que entraram em processo foram recuperados no segundo teste.

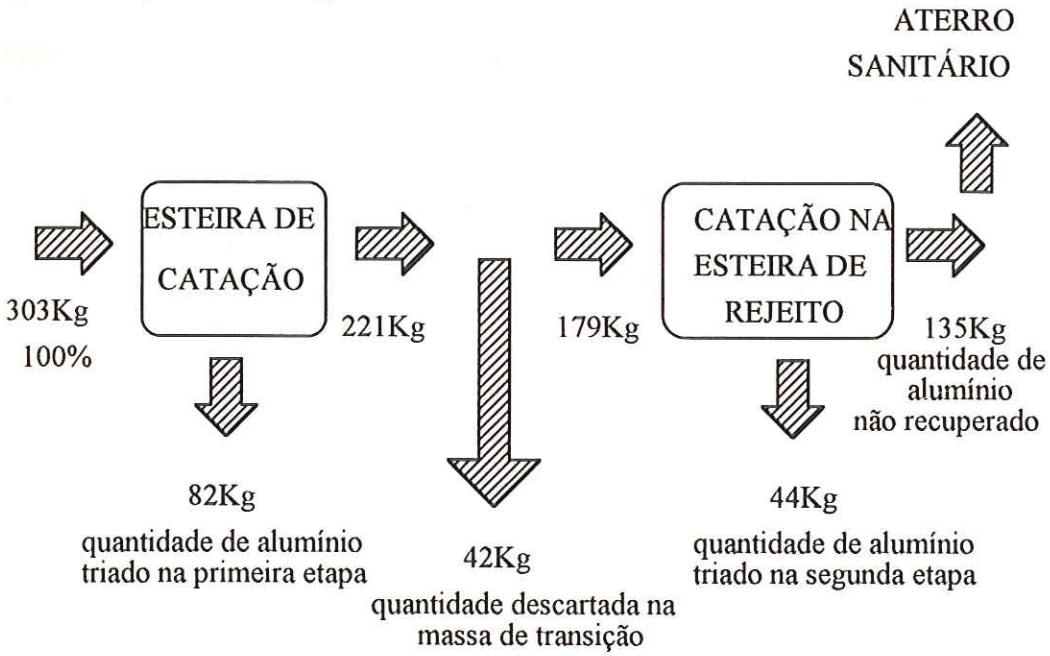


FIGURA 49-Balanço de massa do alumínio que entrou em processo

A partir da Figura 49, nota-se que dos 261Kg de alumínio(já descontada a quantidade descartada na massa de transição), foram recuperados 126Kg, ou seja **48,3%** do total de alumínio foram recuperados no segundo teste. Deve se levar em consideração que as latas de alumínio triadas na segunda etapa do processo estavam empregnadas com composto, aumentando seu peso original.

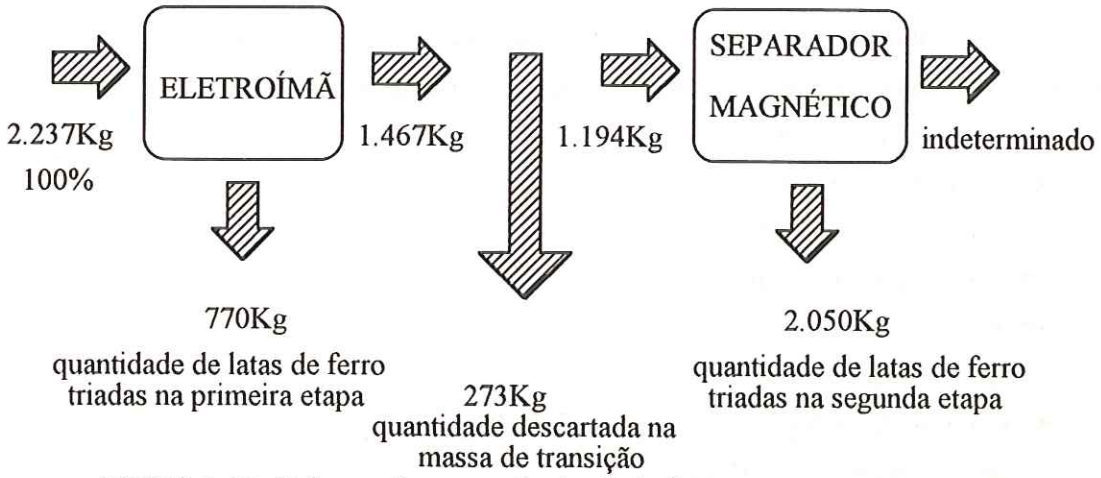


FIGURA 50- Balanço de massa das latas de ferro que entraram em processo.

Nota-se que, assim como no primeiro teste, as latas de ferro recuperadas após o bioestabilizador estavam cheias de composto, aumentando seu peso original e inviabilizando a determinação da eficiência na segunda etapa do processo.

A transformação da matéria orgânica e do papel em composto cru, neste segundo teste, é mostrada na Figura 51. De toda matéria orgânica e papel presente em M1, **69%** é transformado em composto cru não peneirado.

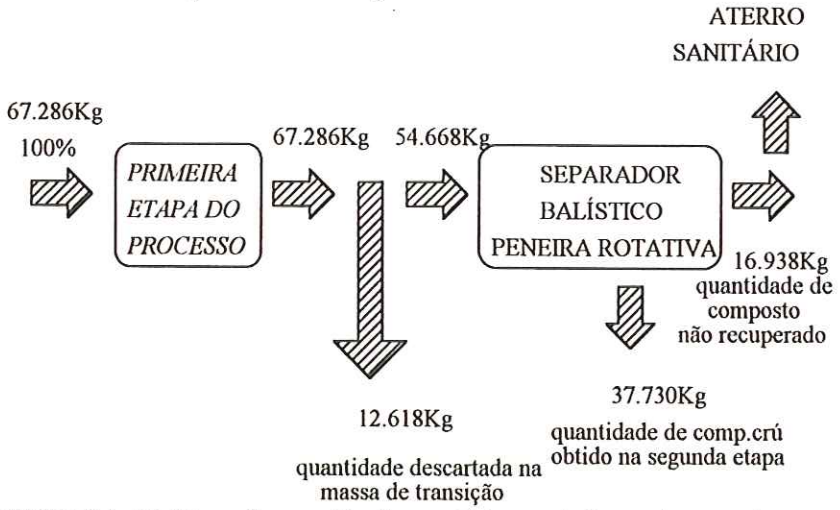


FIGURA 51-Transformação da matéria orgânica e do papel em composto cru.

Terceiro balanço de massa

Como já citado na metodologia, o terceiro balanço de massa foi realizado apenas na primeira etapa do processo.

A quantidade de resíduos sólidos domiciliares destinados ao trabalho foi de 96.300Kg, descontando-se 1.889Kg encaminhados ao quarteamento resultou em 94.411Kg (MT) para o terceiro balanço de massa. A composição física de MT, baseada na terceira caracterização, foi:

•grupo 1: plástico duro = 1.888Kg

•grupo 2: vidro = 1.435Kg

•grupo 3: latas e pequenas peças de alumínio = 161Kg

•grupo 4: latas de ferro = 2020Kg

•grupo 5: sucata ferrosa = indeterminado

•grupo 6: matéria orgânica e papel = 73.792Kg

•grupo 7: papelão = 4.976Kg

•grupo8: plástico filme = 5.381Kg

•grupo9: borracha, couro, madeira = 2.096Kg

•grupo10: trapos = 2.662Kg

TOTAL(MT) = 94.411Kg

A Figura 52 ilustra o balanço de massa na primeira etapa e a Tabela 16 mostra os resultados obtidos.

QUANTIDADE DE RECICLÁVEIS PRESENTES EM MT

PRIMEIRA ETAPA DO PROCESSO

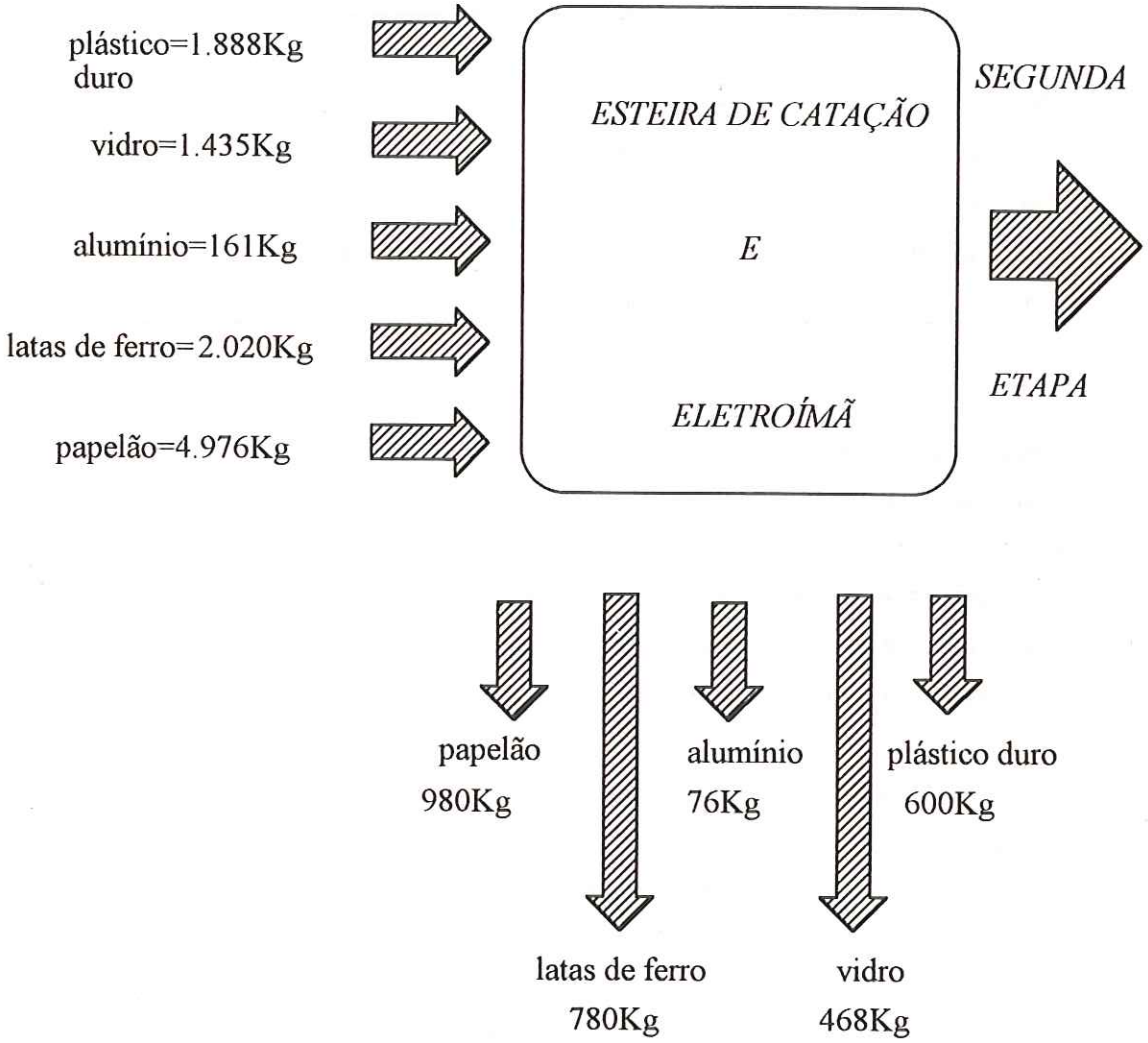


FIGURA 52-Fluxo de materiais na primeira etapa do processo-Terceiro balanço de massa

TABELA 16- Eficiência da esteira de catação e do eletroimã na remoção dos materiais recicláveis, na primeira etapa do processo

MATERIAIS	QUANTIDADE DISPONÍVEL NOS RESÍDUOS(Kg)	QUANTIDADE REMOVIDA(Kg)	EFICIÊNCIA DO PROCESSO(%)
PAPELÃO	4.976	980	19,7
VIDRO e CACO	1.435	468	32,6
PLÁSTICO DURO	1.888	600	31,8
ALUMÍNIO	161	76	47,3
LATAS DE PRIMEIRA	2.020	780	38,6
TOTAL	10.480	2.904	----

Quarto balanço de massa

Este quarto balanço de massa também foi realizado apenas na primeira etapa do processo.

A quantidade de resíduos sólidos domiciliares destinados ao trabalho foi de 100.590Kg, descontando-se 1.680Kg encaminhados ao quarteamento resultou em 98.910Kg (MT) para o quarto balanço de massa. A composição física de MT, baseada na quarta caracterização, foi:

•grupo 1: plástico duro = 3.680Kg

•grupo 2: vidro = 2.334Kg

•grupo 3: latas e pequenas peças de alumínio = 712Kg

•grupo 4: latas de ferro = 3.145Kg

•grupo 5: sucata ferrosa = indeterminado

•grupo 6: matéria orgânica e papel = 61.977Kg

•grupo 7: papelão = 6.686Kg

•grupo8: plástico filme = 11.958Kg

•grupo9: borracha, couro, madeira = 3.670Kg

•grupo10: trapos = 4.748Kg

TOTAL(MT) = 98.910Kg

A Figura 53 a seguir ilustra o balanço de massa.

QUANTIDADE DE RECICLÁVEIS PRESENTES EM MT

PRIMEIRA ETAPA DO PROCESSO

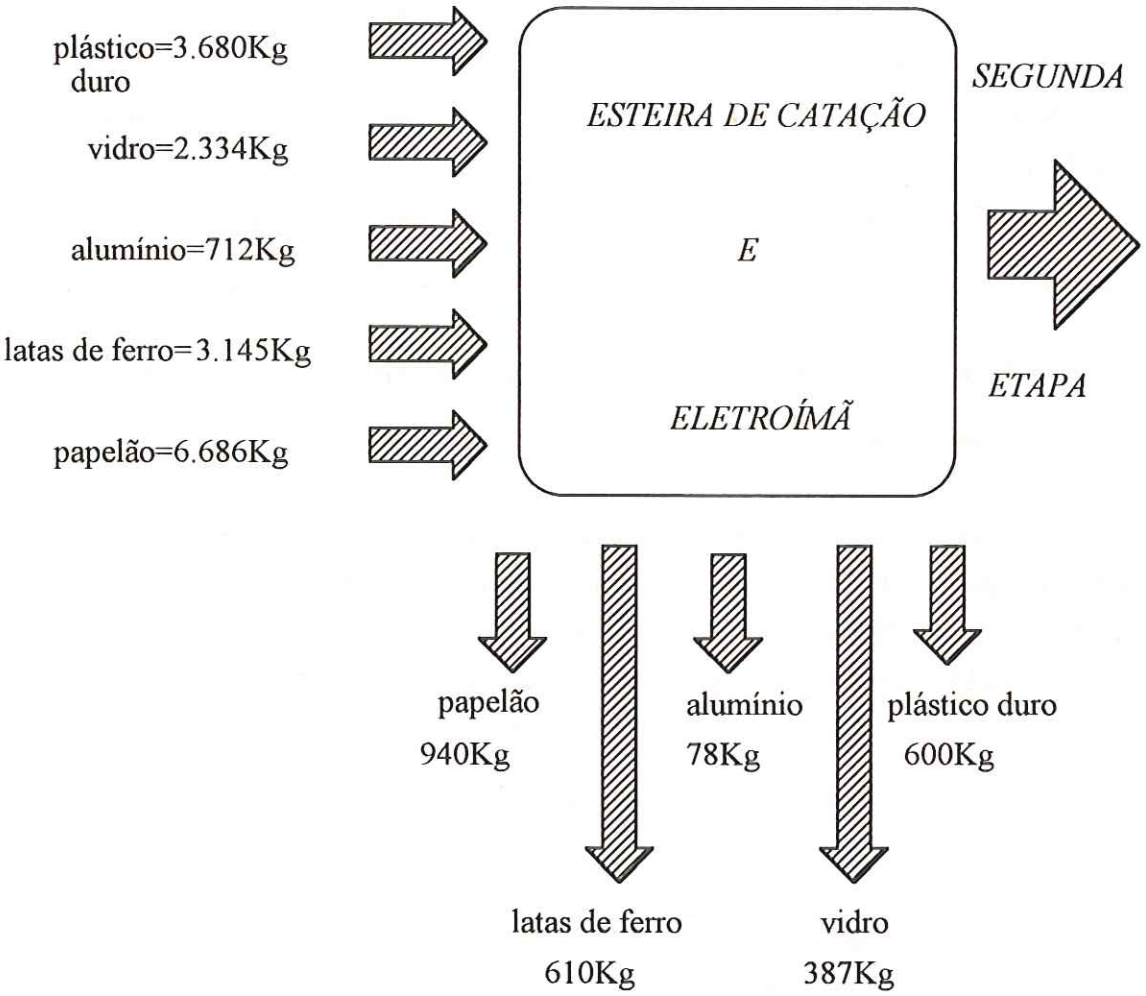


FIGURA 53-Fluxo de materiais na primeira etapa do processo-Quarto balanço de massa

Comparando-se a composição de MT, destinada à primeira etapa do processo, com os materiais recuparados, obtém-se a eficiência de remoção dos materiais recicláveis na mesa de catação e no eletroímã. A Tabela 17 mostra os resultados obtidos no quarto balanço de massa nesta primeira etapa.

TABELA 17- Eficiência da mesa de catação e do eletroímã na remoção dos materiais recicláveis, na primeira etapa do processo

MATERIAIS	QUANTIDADE DISPONÍVEL NOS RESÍDUOS(Kg)	QUANTIDADE REMOVIDA(Kg)	EFICIÊNCIA DO PROCESSO(%)
PAPELÃO	6.686	940	19,4
VIDRO e CACO	2.334	387	16,6
PLÁSTICO DURO	3.680	600	16,3
ALUMÍNIO	712	78	10,9
LATAS DE PRIMEIRA	3.145	610	19,4
TOTAL	16.557	2.615	-----

5.4 Resultados das caracterizações físicas dos rejeitos destinados ao aterro sanitário

A caracterização dos rejeitos destinados ao aterro sanitário foi realizada conforme descrição que consta na metodologia. A massa utilizada na primeira caracterização dos rejeitos foi de 539,6Kg e os resultados são mostrados na Tabela 18

TABELA 18-Caracterização, em peso, do rejeito - primeiro teste

MATERIAIS	REJEITO	
	peso (Kg)	(%)
plástico duro (grupo A)	56,20	10,42
plástico filme (grupo B)	192,0	35,58
alumínio (grupo C)	8,4*	1,56
latas de ferro (grupo D)	16*	2,97
trapos (grupo E)	19,3	3,57
couro,madeira,borracha (grupo F)	32,2	5,97
refugo *(grupo G)	215,5	39,93
TOTAL	539,6	100,00

*(1) As latas estavam cheias de composto, aumentando seu peso original

A segunda caracterização dos rejeitos destinados ao aterro sanitário é mostrada na Tabela 19. O procedimento para realizar a caracterização seguiu os mesmos moldes do primeiro teste.

TABELA 19-Caracterização, em peso, do rejeito - segundo teste

MATERIAIS	REJEITO	
	peso (Kg)	(%)
plástico duro (grupo A)	25,8	4,89
plástico filme (grupo B)	104,7	19,83
alumínio (grupo C)	8,0	1,52
latas de ferro (grupo D)	3,0	0,57
trapos (grupo E)	133,0	25,20
couro,madeira,borracha (grupo F)	17,4	3,3
refugo *(grupo G)	235,9	44,69
TOTAL	527,8	100

* As latas estavam cheias de composto, aumentando seu peso original

A princípio o rejeito deveria ser formado por materiais que não são triados durante o processo da usina, ou seja, pelos grupos 8, 9 e 10 da caracterização ou pelos grupos B, E, F, e G, mas como se pode notar, na primeira caracterização foram identificados 15% de materiais reciclaveis e na segunda 7%.

5.5 Resultados do levantamento do custo operacional

Considerando a Tabela 20, a qual apresenta as quantidades processadas e a energia elétrica utilizada, durante os meses de outubro/95 a fevereiro/96, observa-se que o consumo médio de energia por tonelada processada foi de R$ 0,64 / tonelada.

Com a manutenção dos equipamentos foram gastos em 7 meses, novembro de 1.994 até maio de 1.995, cerca de 126.365,00 reais ou 18.052,00 reais /mês. Considerando agora, que nos referidos meses foram processadas, em média, 11.911 toneladas / mês fornecendo, portanto, um custo aproximado de manutenção de 1,63 reais / tonelada processada.

Finalizando, a operação da usina custa, aproximadamente, à Prefeitura de São Paulo R$ 11,12 / tonelada (R$ 0,64 /tonelada de energia, R$ 1,63 /tonelada de manutenção e R$ 8,84 / tonelada com a empreiteira).

TABELA 20- Relação do custo de energia com a quantidade processada

MÊS	QUANTIDADE (em toneladas PROCESSADA	CONSUMO DE ENERGIA(em reais)	CONSUMO (em reais) por TONELADA PROCESSADA
setembro/95	11.877,94	8.347,1	0,70
outubro/95	11.980,45	6.246,9	0,52
novembro/95	15.872,35	7.196,3	0,45
dezembro/95	13.153,86	7.948,0	0,60
janeiro/96	10.009,41	7.655,2	0,76
fevereiro/96	9.021,16	7.395,5	0,82
MÉDIA	-----	-----	**0,64**

6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O uso da metodologia, já descrita no presente trabalho, conduziu aos resultados vistos no capítulo anterior. Agora tais resultados, a fim de atender os objetivos propostos, são aqui discutidos conforme o que apresenta-se a seguir.

6.1 Sobre os traçadores

A partir dos resultados obtidos com os traçadores pode-se verificar que o tempo de detenção dos resíduos(matéria orgânica, recicláveis e rejeito) no interior do bioestabilizador é de sete horas a sete hora e meia. Este tempo de detenção não confere com os catálogos da DANO DO BRASIL S/A(1979), nos quais o tempo de detenção dos resíduos no bioestabiliozador é de dois a três dias. Por outro lado, os resultados obtidos por REZENDE(1993), realizados no sistema DANO da cidade de Belo Horizonte, forneceram um tempo de detenção de 20 horas, utilizando cloreto de sódio como traçador.

Durante os testes com os traçadores observou-se que o tempo de detenção dos resíduos no bioestabilizador está diretamente relacionado com a quantidade (altura) de resíduos no seu interior, o que, por sua vez, depende da abertura da porta do biestabilizador. Portanto, o tempo de detenção dos resíduos é variável, pois depende da abertura da porta do biestabilizador.

6.2 Sobre a caracterização física

A média das quatro caracterizações realizadas na usina de reciclagem e compostagem de São Matheus-SP estão listadas na Tabela 21 a seguir.

TABELA 21-Média das quatro caracterizações realizadas na usina de reciclagem e compostagem de São Matheus-SP.

MATERIAIS	PORCENTAGEM (%)
PAPELÃO	6,41
VIDRO	1,73
PLÁSTICO FILME	8,68
PLÁSTICO DURO	2,51
ALUMÍNIO	0,36
LATAS DE FERRO	2,58
MATÉRIA ORGÂNICA E PAPEL	71,58
TRAPO	3,47
COURO,BORRACHA e MADEIRA	2,68
TOTAL	100,0

A partir da Tabela 21, observa-se que em relação aos plásticos encontrados nos resíduos sólidos domiciliares destinados à usina 77,6% correspondem a plástico filme e 22,4% correspondem a plástico duro. Por outro lado, considerando que durante o processo são triados apenas os plásticos duros, a maior parte dos plásticos (77,6% ou plásticos filmes, portanto) não é recuperada. Isto, provavelmente, deve-se ao fato de que, embora os plásticos filmes antigamente fossem triados na esteira de catação da usina, atualmente, por problemas de falta de mercado, decorrentes principalmente da alta contaminação dos mesmos por outros produtos e também do elevado custo de seu frete, tais plásticos ficavam estocados nos pátios da usina. Neste aspecto, inclusive, durante as caracterizações, foi observado que plásticos duros realmente encontravam-se mais "limpos"quando comparados com os plásticos filmes. Especialmente porque estes últimos são utilizados, na maioria das vezes, para acondicionar papel higiênico, restos de comida, cascas de frutas, materiais de consistência pastosa, etc.

Analisando ainda a Tabela 21, nota-se que teoricamente 85,2% dos resíduos destinados à usina são constituídos por materiais recicláveis que podem ser recuperados através do processo ali existente. Este percentual supracitado é composto por 84% de matéria orgânica e papel; 7,5% de papelão, 3,1% de latas de ferro; 3,0% de plásticos duros; 2,0% de vidro e 0,4% de alumínio. Ademais, dos resíduos destinados à usina

14,8% são constituídos por trapos, borracha, madeira, couro e plástico filme, os quais não são triados, sendo portanto destinados ao aterro sanitário.

Normalmente, quando se realiza a caracterização dos resíduos sólidos domiciliares, o estabelecimento dos grupos de materiais irá depender do objetivo a que se destina a composição física dos resíduos, podendo variar de uma caracterização para outra. Somado a isto, tem-se ainda uma falta de padronização dos métodos utilizados, acarretando em dificuldades para a comparação direta dos dados, sendo necessário, em alguns casos, agrupar alguns materiais para viabilizar a análise de tais dados. Um exemplo disto foi o agrupamento do papel, papelão e matéria orgânica, já que em algumas caracterizações o papel e papelão são apresentados juntos e também porque, como neste trabalho, nem sempre há interesse em separar o papel da matéria orgânica, pois os dois são considerados como matéria orgânica e destinados à compostagem. Portanto, a única forma de comparação possível, como se viu, foi agrupando estes três tipos de materiais. Outros dois exemplos foram obtidos com o grupo dos metais, onde foi necessário reunir os materiais ferrosos com os não ferrosos. Assim sendo, após os agrupamentos e comparando-se a média dos resultados obtidos nas quatro caracterizações realizadas na usina com as das caracterizações realizadas recentemente em outras cidades do país (Tabela 22), nota-se alguma semelhança nos dados.

A baixa porcentagem de metal obtida na usina, em relação as outras caracterizações, pode ser decorrente da metodologia utilizada no trabalho, a qual descartava os materiais grosseiros como armações de ferro, cadeiras e outras sucatas, antes do quarteamento, já que a sua inclusão poderia não ser representativa devido ao seu peso elevado em relação a massa utilizada na caracterização.

TABELA 22-Comparação entre os resultados obtidos na caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares destinados ao trabalho e a caracterização de outras cidades.

Materiais	Média obtida no trabalho(%)	Média obtida em algumas capitais(%)				
		São Paulo (1)	São Carlos (2)	Manaus (3)	Joinville (4)	Rio de Janeiro(5)
matéria orgânica papel e papelão	**77,99**	80,9	78,0	77,64	66,19	67,0
vidro	**1,73**	3,0	1,4	2,18	2,52	2,9
plástico duro e plástico filme	**11,19**	5,6	8,5	8,62	13,25	13,2
trapo	**3,47**	não disponível	3,4	2,56	3,63	3,5
couro,borracha e madeira	**2,68**	não disponível	2,3	3,46	2,18	3,1
metal ferroso e não ferroso	**2,94**	4,9	5,4	4,31	5,81	3,8

Fontes: (1) Plastivida (1991). Nesta caracterização a divisão dos grupos utilizada reuniu trapo, borracha, couro e madeira em um mesmo grupo denominado **outros** com 5,6% no total

(2) Gomes(1991)

(3) Andrade (1992)

(4) Santos(1994)

(5) Grossi(1993)

6.3 Sobre a eficiência de recuperação dos materiais recicláveis e da transformação da matéria orgânica em composto durante o processamento dos resíduos na usina

Analisando a eficiência de remoção dos materiais recicláveis presentes nos resíduos na primeira etapa do processo (esteira de catação e eletroímã), nos quatro testes, nota-se que apenas uma pequena parte é recuperada, sendo o alumínio e o plástico duro

os de maior eficiência. A Tabela 23 mostra as eficiências obtidas nos quatro testes e a média dos valores obtidos.

TABELA 23- Eficiência de remoção dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos domiciliares destinados à usina, na primeira etapa do processo (esteira de catação e no eletroímã)

MATERIAL	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO(%)				MÉDIA DE REMOÇÃO DE CADA MATERIAL(%)
	1º TESTE	2º TESTE	3ºTESTE	4ºTESTE	
PAPELÃO	19	9,6	19,7	19,4	**16,9**
VIDRO	28	29,3	32,6	16,6	**26,6**
PLÁSTICO DURO	42	36,7	31,8	16,3	**31,7**
ALUMÍNIO	45	27	47,3	10,9	**32,5**
LATAS DE FERRO	17	34,9	38,6	19,4	**27,5**
MÉDIA OBTIDA POR TESTE	**30,2**	**27,5**	**34**	**16,5**	**27,05**

A partir da Tabela 23 nota-se que de todos os materiais recicláveis (menos matéria orgânica) que chegaram à usina, nos quatro testes, em média apenas 27,05% foram recuperados. Observa-se também uma grande variação das eficiências durante os testes, pois trata-se de um processo manual onde sua eficiência é totalmente dependente da competência e da boa vontade dos operadores, sendo portanto classificado como um processo incapaz. Isto pode ser confirmado quando se verifica a grande variação na quantidade recuperada por hora por pessoa durante os quatro testes (Tabela 24). Porém, deve-se considerar que esta grande variação na quantidade coletada por hora por pessoa é, em grande parte, decorrente da dificuldade dos catadores em visualizar os materiais reciclados, a serem triados, por estarem sob uma massa de resíduos ou dentro

de sacos fechados de lixo. Isto se deve a inexistência de um equipamento que rasge os sacos de lixo antes da esteira e controle de forma eficiente a quantidade de resíduos descarregados na esteira de catação, que atualmente é controlada através da quantidade de resíduo descarregado no fosso.

TABELA 24 -Quantidade de materiais retirados, por hora e por pessoa, na esteira de catação

TESTE	Número total de pessoas nas 4 esteiras de catação	Tempo de processamento na esteira de catação	Total de material coletado (Kg)	Quantidade de material retirado (kg/h.pessoa)
1º teste	16(1)	1,67	7.892(2)	295
2 º teste	16	1,92	6.385(2)	208
3 º teste	16	1,59	6.238(2)	245
4 º teste	16	1,98	8.073(2)	255
MÉDIA	16	1,79	7.147	**251**

(1)Existem quatro linhas e cada uma possui quatro pessoas.

(2) Nestes valores estão incluídos todos os materiais coletados na esteira de catação, inclusive os refugos. A única exclusão foi a das latas pois estas são retiradas pelo eletroímã e não manualmente.

No caso das latas de ferro, que são recuperadas através do eletroímã e portanto não dependem dos catadores, sua eficiência também é baixa e muito variável(de 17% a 38%), pois encontram-se dentro de sacos ou sob uma massa muito grande de resíduos impedindo sua retirada pelo campo magnético. Observa-se, portanto, a relação direta entre a eficiência da esteira de catação e do eletroímã com a forma e a quantidade de resíduos que chegam a estas etapas.

Em decorrência da baixa eficiência de remoção dos materiais na primeira etapa, a qualidade do composto é prejudicada pela contaminação com outros produtos tais como cacos de vidro, tampinhas, pedaços de plásticos e, principalmente, a contaminação com produtos químicos (tintas e vernizes) utilizados na pintura e que, por abrasão, soltam-se das latas de ferro (Figura 54). Isto vem, portanto, confirmar a afirmação de REZENDE(1993), exposta anteriomente no item 3.1, sobre a relação entre a qualidade do composto e a eficiência de remoção dos materiais na esteira de catação.

Com relação a eficiência de transformação da matéria orgânica em composto, 69% (37.730t) no primeiro teste e 71% (7.850t) no segundo, nota-se uma elevada eficiência que, em parte, pode ser ocasionada pela presença de outros materiais

(principalmente cacos de vidro e papelão) que não foram recuperados na esteira de catação, sendo incorporados ao composto. A quantidade de matéria orgânica transformada em composto representa 90% ,em peso, de todos os materiais recuperados durante o primeiro balanço de massa, e 88% em relação ao segundo. Por outro lado, a média das caracterizações apresentada no item 6.2 deste capítulo, mostrou que dos materiais recicláveis presentes nos resíduos destinados à usina, a matéria orgânica representa 84%, justificando, por um lado, a grande porcentagem com relação aos materiais recicláveis, e por outro mostrando, mais uma vez, a eficiência dos materiais recicláveis.

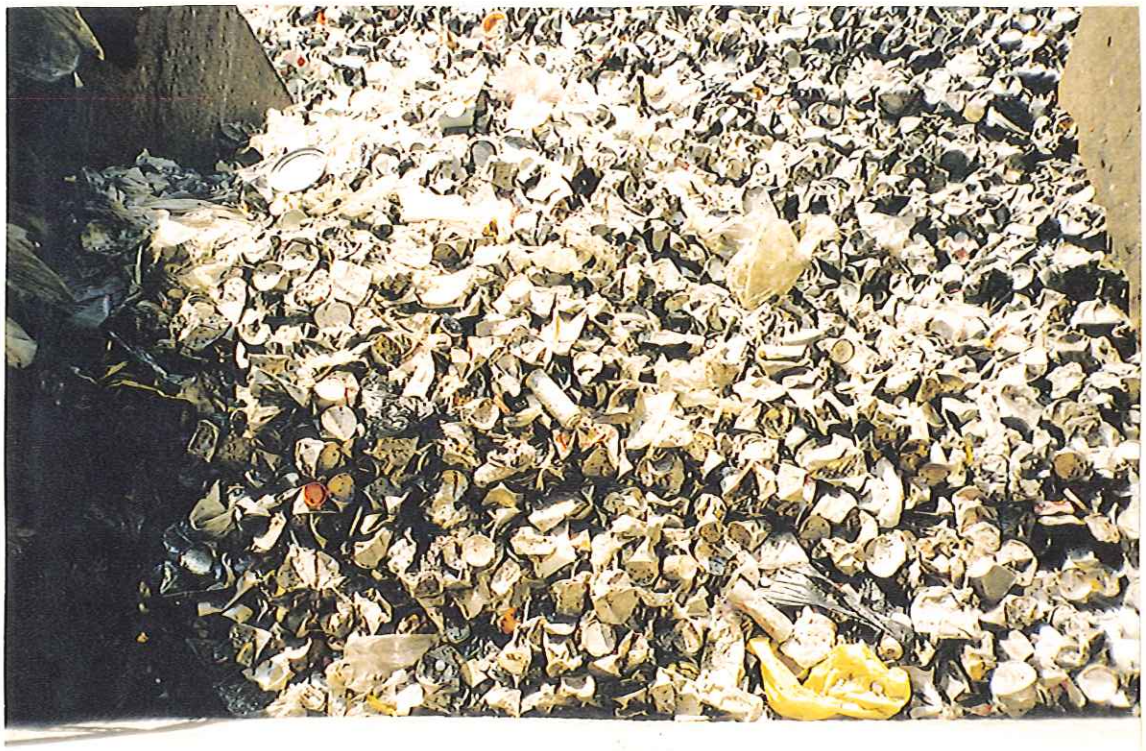


FIGURA 54- Latas recuperadas após o bioestabilizador ou latas de segunda.

Comparando a média obtida de 251 kg/hora.pessoa ou 3,6t/dia.pessoa, considerando o turno de 15 horas, com os valores apontados por GALVÃO JUNIOR(1994) que em sua pesquisa demonstra que a quantidade de lixo processada varia de 1,38 a 5,0t/homem dia em usinas de grande porte, nota-se então que o valor obtido está dentro da faixa pesquisada pelo referido autor.

EESC-USP Biblioteca CAMPUS DE S. CARLOS

A baixa eficiência de remoção dos vidros é decorrente da fragilidade do produto, que muitas vezes apresenta-se em cacos dificultando a catação. Além disso, não ocorre a remoção deste produto na segunda etapa do processo, pois no bioestabilizador o vidro é triturado por abrasão sendo incorporado ao composto e ao rejeito.

A maior eficiência de remoção do plástico duro e do alumínio está ligada ao fato destes materiais serem mais resistentes quando comparados com o papelão e o vidro, tendo, portanto, melhores condições de não se degradarem nas etapas que antecedem a catação (acondicionamento, transporte e compactação, descarga e alimentação do fosso), facilitando a sua identificação no processo. Convém destacar que nesta identificação o vidro geralmente esta na forma de cacos e o papelão apresenta-se danificado pela umidade presente na matéria orgânica.

No trabalho realizado por MACHADO(1995), no qual comparam-se os custos da coleta seletiva e regular no balneário Florianópolis, na cidade de Florianópolis-SC, o autor faz um levantamento da quantidade disponível de cada material reciclável presente nos resíduos e compara com a quantidade recuperada na coleta seletiva, a qual CHAMARD(1984) apresenta como sendo rendimento efetivo da coleta seletiva. Comparando os valores obtidos no rendimento efetivo da coleta seletiva, no Balneário, com as eficiências obtidas na esteira de catação da usina, observa-se uma maior eficiência de remoção dos materiais recicláveis na usina do que na coleta seletiva. Ademais, deve-se levar em consideração que o rendimento efetivo da coleta seletiva deve aumentar com o decorrer do programa. A Tabela 25 compara as eficiências obtidas na coleta seletiva no balneário Florianópolis e na esteira de catação.

Agrupando-se os resultados obtidos no primeiro e no segundo teste, nos quais realizaram-se o balanço de massa em todo o processo da usina, foi possível verificar a eficiência geral do processo na remoção dos materiais recicláveis que são triados na primeira e na segunda etapas. Tais materiais são o plástico duro, o alumínio e o ferro. No caso do ferro não foi possível obter sua eficiência na segunda etapa, pois as latas estavam cheias de composto. O papelão e o vidro, como são triados apenas na primeira etapa, tiveram suas eficiências mostradas na Tabela 23. As eficiências globais de remoção do plástico duro e do alumínio, no primeiro balanço de massa, foram de 55,3% e 80% respectivamente. No segundo balanço de massa a eficiência do plástico foi de 53,8% e a do alumínio foi 48,3%. Portanto, estes valores demonstraram que eficiências globais de remoção, média, do plástico duro e do alumínio foram de 54,5% e 64,1%, respectivamente.

TABELA 25- Comparação das eficiências da coleta seletiva e do processo da usina, na recuperação dos materiais recicláveis.

MATERIAIS	% RECUPERADA NA COLETA SELETIVA	% REMOVIDA DURANTE A PRIMEIRA ETAPA DO PROCESSO DA USINA
papelão	2,73	16,9
vidro	2,01	26,6
plásticos	1,78	7,1 (*1)
metais	1,71	30 (*2)

(*1) Esta porcentagem foi obtida dividindo-se a quantidade média de plástico duro recuperado no processo pela soma das quantidades médias de plástico duro e plástico filme encontradas nos resíduos.

(*2) Este valor corresponde a média das eficiências do alumínio e das latas de ferro

Considerando que os plásticos duros representam apenas 22,4% do total dos plásticos presentes nos resíduos (Tabela 21), e que a eficiência de remoção deste material durante o processo da usina é de 54,5%, conclui-se que somente 12,2% de todo o plástico presente nos resíduos foi recuperado no processo durante os dois balanços de massa.

6.4 Sobre a caracterização dos rejeitos destinados ao aterro sanitário

Os resultados obtidos nas duas caracterizações dos rejeitos dificultaram uma análise mais aprofundada sobre sua composição física, em decorrência da grande porcentagem obtida no grupo **refugo** (39,9% e 44,7%) formado, como já citado na metodologia, por vários materiais (tampinhas de plástico e ferro, vidros triturados, matéria orgânica, pequenos pedaços de plástico e trapo, etc.).

Baseado nos resultados obtidos nas duas caracterizações dos rejeitos (Tabela 26), nota-se que, em média, 11% do rejeito é constituído por materiais recicláveis triados no processo, ou seja, plástico duro, alumínio e latas de ferro. Nota-se também que o plástico filme (27,7%) juntamente com o plástico duro(7,6%) são responsáveis por 35,3% em peso do total de rejeitos.

TABELA 26- Resultados das duas caracterizações dos rejeitos

COMPONENTES	1ª CARACTERIZAÇÃO (%)	2ª CARACTERIZAÇÃO (%)	MÉDIA (%)
PÁSTICO DURO	10,4	4,9	7,6
PLÁSTICO FILME	35,6	19,8	27,7
ALUMÍNIO	1,5	1,5	1,5
LATAS DE FERRO	3,0	0,6	1,8
TRAPO	3,6	25,2	14,4
COURO,BORRACHA MADEIRA	6,0	3,3	4,65
REFUGO	39,9	44,7	42,3

Para analisar melhor os resultados optou-se por classificar, em ordem decrescente, as porcentagens de cada material e comparar as duas caracterizações, conforme mostra a Tabela 27 a seguir.

TABELA 27- Classificação decrescente das quantidades obtidas de cada material nas caracterizações dos rejeitos.

CLASSIFI-CAÇÃO	1º CARACTERIZAÇÃO (%)	2º CARACTERIZAÇÃO
1º	REFUGO (39,9)	REFUGO (44,7)
2º	PLÁSTICO FILME (35,6)	TRAPO (25,2)
3º	PLÁSTICO DURO (10,4)	PLÁSTICO FILME (19,8)
4º	COURO, BORRACHA e MADEIRA (6,0)	PLÁSTICO DURO (4,9)
5º	TRAPOS (3,6)	COURO, BORRACHA E MADEIRA (3,3)
6º	LATAS DE FERRO (3,0)	ALUMÍNIO (1,5)
7º	ALUMÍNIO (1,5)	LATAS DE FERRO (0,6)

Observa-se , a partir da Tabela 27, que existe uma certa coerência no que diz respeito a ordem de composição, com exceção do grupo composto por trapo, onde ocorreu uma grande variação entre as caracterizações (de quinto para segundo). Provavelmente este erro ocorrido na porcentagem do grupo de trapos foi ocasionado pela presença de **buchas** dos bioestabilizadores na amostra caracterizada. Estas buchas, como

já foi dito, são formadas por trapos e cordas que ao entrarem nos bioestabilizadores enroscam em outros materiais aumentando seu tamanho ao ponto de obstruirem a saída do bioestabilizador. Neste momento paralisa-se a operação da usina para retirada da bucha, que é descartada inteira na esteira de rejeito.

6.5 Sobre os custos operacionais

O levantamento dos dados sobre os custos operacionais da usina de São Matheus à Prefeitura de São Paulo, apresentados no item 5.5, conduzem a um valor bruto de **R$ 11,12 / tonelada** processada, sem considerar a receita obtida com a venda dos materiais recicláveis e do composto cru, que no período utilizado para o apontamento dos custos, de setembro/95 a fevereiro/96, foi de R$ 9.644,5 por mês. Considerando que a usina processou, no período citado, uma média de 11.985,33 toneladas /mês a um custo de R$ 11,12 /tonelada, a despesa bruta foi de R$ 133.276,91 / mês. Portanto, descontando-se a receita obtida com a venda dos materiais recicláveis chega-se a um valor de R$ 123.632,41 /mês ou **R$ 10,31 /tonelada**.

Conforme relatório da COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE VITÓRIA (1994), a usina de reciclagem e compostagem de Vitória, localizada na cidade de Vitória-ES, obteve, em 1994, um custo bruto de US$ 28,27 /tonelada, chegando a US$ 22,36 / tonelada com a receita adivinda da venda dos recicláveis triados. Segundo a mesma fonte, a referida usina é projetada segundo o sistema Simplificado e processou em 1994, 58.541,98 toneladas (4.878,5 toneladas / mês), obtendo 4.504,17 toneladas de recicláveis inorgânicos.

De acordo com BLEY JUNIOR (1991), o custo operacional para uma usina com capacidade para 500 toneladas / dia ou 7.500 toneladas / mês (SIC) e com processo de compostagem acelerada, é aproximadamente de US$ 19,65 /tonelada. Ainda segundo o autor supracitado, em duas grandes cidades que processam em suas respectivas usinas 21.000 toneladas / mês e 33.000 toneladas / mês, apresentaram um custo de US$ 9,79 / tonelada e US$ 7,44 / tonelada.

Comparando-se o custo da usina de São Matheus com os de outras usinas observa-se que, os custos operacionais apresentados pela literatura são muito variados, dificultando a comparação e a análise dos resultados obtidos na usina sob estudo.

Considerando-se a suposição de que todos os materiais recicláveis, presentes nos resíduos sólidos domiciliares encaminhados a usina, fossem recuperados durante o processo e, que existisse um mercado para esta oferta, obteria-se uma receita de R$ 57.106,40 por mês com as vendas. Portanto, o custo líquido mensal seria de R$ 76.170,51 / mês ou R$ 6,35 / tonelada processada mostrando que , atualmente, é praticamente impossível se obter lucro com a construção e operação de usinas de reciclagem e compostagem, como afirmavam determinados catálogos de equipamentos.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Considerando os objetivos propostos neste trabalho, e com base nos resultados descritos e interpretados nos capítulos anteriores, é possível concluir que:

- os resíduos sólidos domiciliares destinados à usina possuem um grande potencial de reciclagem, pois no processo da usina são recuperados: matéria orgânica, papelão, vidro, alumínio, metal ferroso e plástico duro, os quais representam 85% de toda a massa de resíduos destinada à usina;
- como a matéria orgânica representa mais da metade dos resíduos sólidos domiciliares, seu reaproveitamento - seja através das usinas de reciclagem e compostagem e/ou da coleta seletiva - é fundamental para a redução do volume de resíduos destinados ao aterro sanitário;
- o rejeito destinado ao aterro sanitário é composto em grande parte (42%) por vários materiais triturados (matéria orgânica, plástico filme, tampinhas, trapos, cacos de vidro, etc.) de difícil separação, sendo o plástico o componente mais abundante. No que se refere aos materiais recicláveis, cerca de 11% é composto por latas de ferro, alumínio e plástico duro;
- a maior parte do processo na usina de reciclagem e compostagem de São Matheus-SP é realizada manualmente, por isto a eficiência das operações está diretamente ligada a competência e boa vontade dos catadores nas esteiras, o processo tornando muito vulnerável, susceptível a grandes variações, como pode ser observado nos resultados obtidos;
- mesmo com as baixas eficiências observadas durante os testes, cerca de 50% (300 toneladas) de resíduos sólidos domiciliares deixam de ser enterrados, diariamente, em aterros sanitários, graças principalmente a transformação da matéria orgânica e do papel em composto. Isto permite concluir também que usinas de reciclagem e compostagem, nos grandes centros urbanos, passam a constituir-se em medidas paliativas para os resíduos sólidos domiciliares se programas de coleta seletiva inexistem ou só abrangem pequenas regiões. Por outro lado, em pequenas cidades, nas

quais há disponibilidade de espaço e a implantação de programas de coleta seletiva é menos complicada, a instalação de usinas deve ser muito bem analisada;

- a qualidade do composto formado está diretamente relacionada com o rendimento das operações (na esteira de catação e eletroímã) que antecedem o bioestabilizador, pois todo material que venha a ultrapassar aquelas etapas preliminares poderá ser triturado por abrasão nos bioestabilizadores e incorporado ao composto, comprometendo sua qualidade. Um exemplo, na usina estudada, são as latas de ferro que não foram recolhidas pelo eletroímã indo, portanto, para dentro do bioestabilizador e por abrasão acabando por soltar, no composto, a tinta de seu rótulo. Outro exemplo são os vidros, que devido a sua fragilidade encontram-se em cacos dificultando sua retirada na esteira de catação sendo, portanto, incorporados ao composto. Apesar das características expostas o composto tem grande saída, sendo vendido no estado cru;
- mesmo com uma baixa eficiência de recuperação dos materiais recicláveis estes permanecem estocados na usina, principalmente o vidro (cacos) e o plástico duro, por falta de mercado;
- a hipótese de que as usinas de reciclagem e compostagem podem ser auto-suficientes economicamente, no contexto atual, é praticamente inviável;
- a usina não recicla nenhum material, apenas separa os materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos domiciliares. Estes, posteriormente, são vendidos aos recicladores que os transformam novamente em matéria-prima para posterior fabricação de outros produtos finais;
- a qualidade do composto produzido deve ser periodicamente avaliada com a introdução inclusive de uma norma para testar sua qualidade;
- deve ser estudada, em detalhes, a potencialidade do mercado para o composto e os recicláveis obtidos na usina;
- pelos resultados obtidos, o nome Usina de Reciclagem e Compostagem revela-se inadequado, sendo mais apropriado o nome ***Centro de Triagem e Recuperação da Matéria Orgânica***;
- que se desenvolva um programa de valorização dos recicláveis triados na usina, a fim de adequá-los ao mercado dos recicladores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, L.H. Número de lixões ilegais cresce 25%. *Jornal Folha de São Paulo*, São Paulo,18 set.1995. p.1 (caderno 3).

AMAZONAS, M. A economia de energia na reciclagem de metais. *Projeto Reciclagem*. s.l. Ano 2 nº 4. 1991.

ANDRADE, J.B.L. *Determinação da composição gravimétrica, peso específico e teor de umidade dos resíduos sólidos produzidos na cidade de Manaus*. Manaus, Prefeitura de Municipal de Manaus, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE INDÚSTRIAS DE EMBALAGENS FLEXÍVEIS-ABIEF. A caminho da Reciclagem. *Revista Ciência Hoje*. março/1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT. NBR10.004. *resíduos sólidos-classificação*. São Paulo, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO-ABAL. *Revista do alumínio*, Ano III, junho de 1992.

ASSOCIAÇÃO TÉCNICA BRASILEIRA DE VIDROS-ATBIAV. Nova Embalagem. Publicação técnica. São Paulo,1994.

BERRÍOS, M.R. *O lixo domiciliar: a produção de resíduos sólidos residuais em cidade de porte médio e a organização de espaço, caso de Rio Claro*. Rio Claro, Universidade Estadual de São Paulo-UNESP, 1986.

BLEY JUNIOR, C. Usinas de lixo no Brasil:gerenciamento e perspectivas. *Limpeza Pública*, v.40, p.11-9, 1991.

BRASIL., MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA E DO COMÉRCIO. Conselho de Desenvolvimento Industrial. *Reciclagem e recuperação de materiais.* Brasília D.F., 1982. 110p.

CERVONI, B. *Estruturas físico-financeira dos serviços de limpeza urbana.* São Paulo, Prefeitura de São Paulo, 1993.

CETEA-Boletim informativo. Embalagens e meio ambiente. Campinas.set/out, 1989.

CHAMARD, J.L. *Bilan de la coll*, *ective ville et a Salle*. Ministére de L'Environment du Québec,1988.

COCHRAN, W.G.; WILEY, J.& SON. Sampling Techniques. 1978.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DE VITÓRIA. Relatório de controle. Ano 1994. s.ed. s.d.

DEPARTAMENTO DE LIMPEZA PÚBLICA-LIMPURP. *Relatório mensal dos resíduos sólidos de São Paulo.* São Paulo,1995.

ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Characterization of municipal solid waste in the United States*, 1990.

FELLENBERG, G. *Introdução aos problemas da poluição ambiental.* São Paulo. EPU-EDUSP, p. 111-123, 1980.

GALVÃO JUNIOR, A.C. *Aspectos operacionais relacionados com usinas de reciclagem e compostagem de resíduos sólidos domiciliares no Brasil.* São

Carlos, 1995. 113p. Dissertação(Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GOMES, L.P. *Estudo da caracterização física e biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários*. São Carlos,1989. 179p Dissertação (Mestrado)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GOMIDE, R., *Estequiometria Industrial*. São Paulo, EDUSP,1968.

GROSSI, G. *Composição característica do lixo da usina do Caju-R.J-* COMLURB/ Carioca C.N. Engenharia S.A. Centro de informações sobre resíduos sólidos. UFF/ ISER. Niterói-R.J.1993.

HADDAD, J.F. Tratamento central de resíduos sólidos industriais. *Engenharia Sanitária*, v.18, n.1,1979.

HAGERTY, D.J.; PAVONI, J.L.: HEER, J.E.J. *Solid waste management*. New York. Ed. Van Nostrand, 1973.

HAMADA, J; OJIMA, M.K. Alternativas para disposição de lixo doméstico como forma de prolongamento da vida útil de aterros sanitários. In: IV ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIA E TÉRMICAS-ENCIT, Rio de Janeiro, 1992.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. *Inventário Municipal de base operacional*. Instituto Geográfico e Cartográfico. São Paulo, Censo1991, Síntese 1992.

_____ *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*-1989. Rio de Janeiro, 1992. 79p.

KIEHL, E.J. *Fertilizantes orgânicos*. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1985.

_____ . *Matéria orgânica*. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1981.

KLEE, A.J. e CARRUTH, D. Sample weigts in solid waste composition. *Journal of the Sanitary Enginnering*. American Society of Civil Enginnering. v.96. 1970.

LIMA, L.M.Q. *Compêndio de publicações-residuos sólidos urbanos*. Campinas, CPFL, 1986.

_____. *Tratamento de Lixo*. Ed. Hemus, São Paulo.1988.

LINDENBERG, R.C. Compostagem. In FUZARO, J.A. et al. Resíduos sólidos domésticos: tratamento, disposição final. São Paulo. CETESB.vol.1991.

MACHADO, G.E. *Estudo comparativo de custos da coleta seletiva e convencional de resíduos sólidos urbanos, no bairro Balneário Município de Florianópolis, SC*. Florianópolis, 1995. 132p. Dissertação(Mestrado) Universidade Federal de Santa Catarina.

MESQUITA, C. Surgem os materiais alternativos que não agridem o meio ambiente. *Jornal USP*. São Paulo, 11-7, maio/ 1992.

NEDER, L.T.C. *Reciclagem de resíduos sólidos de origem domiciliares: análise de programas da implantação e da evolução de programas institucionais de coleta seletiva, em municípios brasileiros*. São Paulo, 1995. 115p. Dissertação(Mestrado). Programa de pós-graduação em ciência ambiental, Universidade de São Paulo, 1995.

OBLADEN, N.L.; CHACOROWSKI, J.F.; RUCINSKI, E.J. Reciclagem dos resíduos sólidos urbanos na região metropolitana de Curitiba. In 17º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Natal, 1993. *Anais, v.2*, Natal.

PEREIRA NETO, J.T. Conceitos modernos de compostagem. *Engenharia Sanitária,* v. 28, n.2, p.104, 1989.

_____ Monitoramento da eliminação de organismos patogênicos durante a compostagem do lixo urbano e lodo de esgoto pelo sistema de pilhas estáticas aeradas. *Engenharia Sanitária.* v.27, n.2, p.148, 1988.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. *Diagnóstico cartográfico ambiental do município de São Paulo-Pesquisa Origem/Destino.*São Paulo, 1987.

REZENDE, A.A.P. e PEREIRA NETO, J.T. Estudo e avaliação da eficiência de uma usina DANO de compostagem: processo de triagem. In: 17º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Natal, 1993. *Anais.* Natal, 1993. p277-87.

RICCO, S. *Coleta seletiva e reciclagem: resíduos sólidos e meio ambiente no estado de São Paulo.* São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente, 1993.

SANTOS, J.M.R. *Coleta seletiva de lixo: uma alternativa ecológica no manejo integrado dos resíduos sólidos urbanos.* São Paulo, 1995. Dissertação (Mestrado) - Escola Politénica, Universidade de São Paulo.

SCHALCH, V.; REZENDE, M.O. O processo de compostagem do lixo e sua relação com a qualidade do adubo formado. *Revista BIO,* n.4, p.44, 1991.

SCHALCH, V; LEITE, W.C.A.; GOMES L.P. *Gerenciamento de resíduos sólidos.* Goiânia, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária-ABES, 1990.

STENTIFORD, E.I., Recent Devolopment in Composting. In: INTERNATIONAL SYNPOSIUM ON COMPOST-PRODUCTION, QUALITY AND USE. Itália, Udine, 1986.

THE EARTH WORKS GROUPS., 50 Pequenas coisas que você pode fazer para salvar a terra. São Paulo, José Olympio, 1991.